

# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**



**Facultad de Ingeniería**  
**Carrera de Ingeniería de Sistemas**

## **Geoprocesamiento web (WPS) para la generación de mapas hidrometeorológicos a partir de las estaciones automáticas de las provincias de Azuay y Chimborazo**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
Ingeniero en Sistemas

### **Autor:**

Edisson Fernando Patiño Zaruma  
C.I:0105523567

### **Directora:**

Ing. Rosa Lucia Lupercio Novillo, PhD.  
C.I:0102698693

### **Codirector:**

Ing. Victor Hugo Saquicela Galarza, PhD.  
C.I:0103599577

Cuenca-Ecuador

2018



---

## Resumen

La información hidrometeorológica se ha convertido, en la actualidad, en un factor de suma importancia para el desarrollo de varias actividades humanas como la siembra, optimización de recursos hídricos, estudio de fenómenos naturales, entre otras. Esto se puede llevar a cabo con éxito debido al conocimiento de las características climáticas de un lugar.

Existen espacios geográficos en donde no se puede obtener este tipo de datos debido a la carencia de estaciones hidrometeorológicas. Una de las herramientas utilizadas para la generación de esta información, es la interpolación de un conjunto de datos hidrometeorológicos obtenidos en puntos discretos. Esto se da mediante métodos geoestadísticos implementados en software especializado.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo generar información de precipitación o temperatura de todo el espacio geográfico de las provincias de Azuay y Chimborazo mediante un mapa ráster. Esto se realiza empleando el algoritmo geoestadístico de interpolación Ordinary Kriging, aplicado en el software Quantum GIS y solicitado mediante la tecnología Web Processing Service (WPS). La base de datos consultada pertenece a valores recolectados por estaciones hidrometeorológicas automáticas pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), Universidad de Cuenca y la Universidad Politécnica Salesiana (UPS).

El resultado es implementado en un geoportal web, el cual permite el acceso a reportes de datos históricos proporcionados por las instituciones mencionadas y la ejecución de la interpolación utilizando Ordinary Kriging. El resultado de la interpolación ejecutada se presenta en el visor como un mapa ráster en formato TIFF (Tagged Image File Format) permitiendo su descarga.

Palabras clave: Web processing service WPS, kriging ordinario, geoestadística, precipitación, temperatura, estaciones hidrometeorológicas automáticas, procesamiento geoespacial.



## Abstract

Hydrometeorological information has become, nowadays, a very important factor for the development of several human activities such as sowing, optimization of water resources, study of natural phenomena, among others. This can be carried out successfully due to the knowledge of the climatic characteristics of a place.

There are geographical spaces where this type of data can't be obtained due to the lack of hydrometeorological stations. One of the tools used to generate this information is the interpolation of a set of hydrometeorological data at discrete points. This is done through geostatistical methods implemented in specialized software.

The purpose of the present titration work is to generate precipitation or temperature information of the entire geographic space of the provinces of Azuay and Chimborazo through a raster map. This is done using the geostatistical interpolation algorithm of Ordinary Kriging, applied in the Quantum GIS software and requested through the technology of Web Processing Service (WPS). The database is based on the values collected by the automatic hydrometeorological stations belonging to the Electricity Corporation of Ecuador (CELEC), the University of Cuenca and the Salesian Polytechnic University (UPS).

The result is implemented in a web geoportal, which allows access to historical data reports provided by the aforementioned institutions and the execution of interpolation using Ordinary Kriging. The result of the interpolation executed is presented in the viewer as a raster map in TIFF format (Tagged Image File Format) allowing its download.

**Keywords:** Web processing service WPS, ordinary kriging, geostatistics, precipitation, temperature, automatic hydrometeorological stations, geospatial processing.



---

## Índice de contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Panorama general .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema y justificación .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos del proyecto .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Metodología de la propuesta .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Estructura de trabajo de titulación .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Geoestadística.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Estaciones hidrometereológicas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1 Estaciones hidrometeorológicas automáticas.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2 Contraste entre estaciones automáticas y estaciones convencionales</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Almacenamiento de datos geoespaciales. ....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.1 Geodatabase.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2 Ráster .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3 Shapefile .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Métodos de interpolación.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.1 Ordinary Kriging .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2 Cokriging .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.3 Contraste de Ordinary Kriging con Cokriging.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.4 Validación de método de interpolación a utilizar .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5 Sistemas de información geográfica (SIG) .....</b>	<b>34</b>
<b>2.5.1 Herramientas de software SIG .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6 Tecnologías web .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.1 Servicios web .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.2 Protocolos estándar utilizados en servicios web.....</b>	<b>38</b>
<b>2.7 Geoprocesamiento web .....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.1 Geoservicios del Open Geospatial Consortium OGC .....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.2 Servicios que brinda una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) ....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.3 Web map service WMS .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.4 Web feature service WFS .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.5 Web coverage service WCS .....</b>	<b>43</b>



2.8.6	Catalog service web CSW .....	44
2.8.7	Web processing service WPS .....	44
3.	Desarrollo de la Propuesta .....	46
3.1	Gestión de datos de estaciones hidrometereológicas automáticas .....	47
3.2	Prueba de Interpolación .....	50
3.3	Arquitectura del sistema .....	55
3.3.1	Estaciones Automáticas .....	56
3.3.2	Repositorio .....	56
3.3.3	Web Services .....	57
3.3.4	Aplicación lectura de datos (Promedio Hora) .....	59
3.3.5	Servidor CEDIA .....	59
3.3.6	Base de Datos .....	59
3.3.7	Aplicación Web Datos Meteorológicos .....	61
3.3.8	Internet .....	64
3.3.9	Usuarios .....	64
3.4	Especificación del geoservicio .....	64
3.5	Arquitectura del geoservicio .....	65
3.5.1	Solicitud de Interpolación .....	66
3.5.2	Conexión a Servicio PyWPS mediante Flask .....	66
3.5.3	Proceso .....	69
3.5.4	Consulta de Datos .....	70
3.5.5	Datos Solicitados .....	71
3.5.6	Resultado Ráster .....	72
3.5.7	Envío de Ráster .....	75
3.5.8	Presentación Ráster .....	75
4.	Conclusiones .....	76
5.	Recomendaciones y Limitaciones .....	77
6.	Referencias .....	78
7.	Anexos .....	83
	Anexo 1: Esquema de base de datos de la Administración .....	83
	Anexo 2: Esquema de Base de Datos .....	84
	Anexo 3: Esquema de DataLogger .....	85
	Anexo 4: Esquema de datos del servidor .....	86
	Anexo 5: Instalación de Apache Tomcat 7 .....	87



## Universidad de Cuenca

---

<b>Anexo 6: Instalación de PostgreSQL y PostGIS .....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo 7: Instalación de Apache.....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 8: Instalación de PHP .....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo 9: Configuración de los IpTables .....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 10: Instalación de phpMyAdmin.....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo 11: Instalación y configuración de pmapper .....</b>	<b>102</b>
<b>Anexo 12: Instalación y configuración de QGIS para escritorio .....</b>	<b>105</b>



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Distribución de las estaciones hidrometeorológicas en el Ecuador. Fuente: INAMHI-2017 .....	14
Ilustración 2. Distribución gráfica de estaciones hidrometeorológicas automáticas del INAMHI en Ecuador. ....	15
Ilustración 3. Ráster. Fuente: QGIS-2017 .....	27
Ilustración 4. Utilización de herramientas geoestadísticas para la generación de información espacial meteorológica en la provincia del Azuay. Fuente: Caguana-2017.....	31
Ilustración 5. Parámetros estadístico Validación. a) Precipitación, b) Temperatura. Fuente: Caguana-2017 .....	34
Ilustración 6. Pila de protocolos de los WebServices. Fuente: Besteiro, M & Rodríguez, M-2013.....	39
Ilustración 7. Arquitectura y tipos de Geoservicios. Fuente: IDESF-2009. ....	42
Ilustración 8. Arquitectura de WPS. Fuente: CISC 2011 .....	45
Ilustración 9. Datalogger Campbell CR300. Fuente: Campbell-2017 .....	48
Ilustración 10. Conexión de acceso a VPN CEDIA habilitada. ....	49
Ilustración 11. Registro de datos obtenidos por estaciones automáticas. ....	50
Ilustración 12. Ingreso de Shapes en QGIS. ....	51
Ilustración 13. Parametrización de variables de Ordinary Kriging. ....	52
Ilustración 14. Ráster resultante del proceso de interpolación Ordinary Kriging. ....	53
Ilustración 15. Interpolación con Ordinary Kriging mediante un script de PyQGIS. ....	54
Ilustración 16. Arquitectura del Sistema. ....	56
Ilustración 17. Código de Estaciones de UPS. ....	58
Ilustración 18. Formato XML Web Service UPS.....	58
Ilustración 19. Archivos obtenidos de estaciones automáticas.....	60
Ilustración 20. Detalles y ubicación de una estación automática.....	60
Ilustración 21. Listado de estaciones automáticas. ....	62
Ilustración 22. Reporte de datos hidrometeorológicos. ....	63
Ilustración 23. Visor geográfico. ....	63
Ilustración 24. Petición de Interpolación. ....	65
Ilustración 25. Arquitectura de WPS.....	65
Ilustración 26. Definición de Geoservicio WPS. ....	67
Ilustración 27. Script de interpolación.....	68
Ilustración 28. Descripción del geoservicio mediante el método “DescribeProcess”.....	69
Ilustración 29. Método de transformación de datos primitivos a shapefile. ....	72
Ilustración 30. Parámetros de Ordinary Kriging.....	73



## Universidad de Cuenca

Ilustración 31. Ráster sin cortar resultado de Interpolación.....	74
Ilustración 32. Ráster. ....	74
Ilustración 33. Presentación Ráster.....	75
Ilustración 34. Esquema Administrativo de la Base de Datos. ....	83
Ilustración 35. Esquema de base de datos. ....	84
Ilustración 36. Esquema de tablas en el DataLogger. ....	85
Ilustración 37. Esquema de tablas en el Servidor. ....	86
Ilustración 38. Interfaz gráfica Apache Tomcat. ....	89
Ilustración 39. Despliegue de Apache .....	99
Ilustración 40. linxml, MapScript, mbstring. ....	105
Ilustración 41. Iconv, imap.....	105





## Universidad de Cuenca

---

---

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Edison Fernando Patiño Zaruma. Autor del trabajo "Geoprocesamiento web (WPS) para la generación de mapas hidrometeorológicos a partir de las estaciones automáticas de las provincias de Azuay y Chimborazo", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de octubre de 2018

---

Edison Fernando Patiño Zaruma

C.I: 0105523567



## Universidad de Cuenca

---

---

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Yo, Edison Fernando Patiño Zaruma en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Geoprocesamiento web (WPS) para la generación de mapas hidrometeorológicos a partir de las estaciones automáticas de las provincias de Azuay y Chimborazo", de conformidad con el art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de octubre de 2018

Edison Fernando Patiño Zaruma

C.I: 0105523567



## **AGRADECIMIENTO**

Muchos colaboradores, profesores, familiares y sobre todo amigos forman parte de este proyecto que inició hace ya varios años. Por lo que un agradecimiento general será suficiente en papel y un gran abrazo personal será poco para demostrar mi gratitud.

Años en la dirigencia estudiantil me enseñaron que muchos de los derechos de los que gozo, se debieron a una lucha que yo no luché. Hacer mi parte, no fue un reto sino un reconocimiento a esas personas que estuvieron antes que yo y que disfruté en cada instante. Lo dí todo, y daría aún más si pudiera para ver a mi querida facultad de Ingeniería y Universidad de Cuenca aún más grande.

Concluyo con una frase que un gran amigo que ya no está en este mundo me dijo antes de irse para siempre: “El que no veas tu objetivo, no significa que estés lejos de él. Solo sigue gil...”

**GRACIAS DE TODO CORAZÓN A TODOS.**



## 1. Introducción

El conocimiento de las variaciones meteorológicas y su impacto en el clima ha sido siempre de suma importancia para el desarrollo de la agricultura, la navegación, las operaciones militares y la vida en general, debido a que “con las variables meteorológicas se puede definir el clima, predecir el tiempo, comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas” (Wallace, J. M. & P. V. Hobbs, 2006). Por lo que la falta de información meteorológica a lo largo del país constituye un problema en la actualidad, pues esta información influye significativamente en la población, estudios, desarrollo y en todos los sectores de la sociedad.

El conocimiento del estado de la atmósfera posibilita las labores de vigilancia necesarias en distintas actividades; cualquier tipo de acción que se desarrolle al aire libre como situaciones de emergencia por accidentes químicos o físicos, monitoreo de incendios, entre otros implica que el comportamiento de la meteorología de un lugar puede causar problemas o ser usado como medio favorable. Para ello es necesario conocer cuál ha sido, es o será el comportamiento del medio atmosférico, por lo que el “tener esta información ayuda a las poblaciones a estar preparadas para mitigar o disminuir los impactos que pueden ocasionar los desastres naturales y permite a su vez que las sociedades se desarrollen en ámbitos tanto económicos como productivos de manera satisfactoria” (Petterssen, Sverre, 1956).

Hoy en día varias instituciones públicas y privadas instalan y operan estaciones meteorológicas automáticas a lo largo del país, tales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, Universidad Politécnica Salesiana UPS, Universidad de Cuenca, entre varias más. Sin embargo, no existen los recursos necesarios para implementarlas en puntos remotos, lugares inaccesibles y zonas sin información, por lo que es menester buscar métodos de transmisión, procesamiento y cálculo o métodos estadísticos que permitan extrapolar datos para generar la información meteorológica desconocida de estos lugares.

Tomando esto en cuenta, es necesario utilizar métodos de investigación más prácticos, robustos y económicos, que permitan el relleno de datos hidrometeorológicos de lugares donde se carece de estaciones. De esta manera se contará con datos de todo el territorio que estarán muy aproximados a la realidad y que pueden ser usados para el estudio de fenómenos, toma de decisiones o monitoreo del territorio además de generar una base de datos histórica para su posterior explotación.



## 1.1 Panorama general

Varias instituciones dentro y fuera del Ecuador han orientado sus proyectos a una parte de la vasta área de la hidrometeorología. Por lo que definir este término es indispensable para contextualizar el estado actual del Ecuador y su desarrollo en la misma. Según el Centro de Investigación Aplicada en Hidrometeorología de Catalunya CRAHI (2017), la Hidrometeorología es la ciencia (estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología y la climatología) que estudia el ciclo del agua en la naturaleza. Abarca el estudio de las fases atmosférica (evaporación, condensación y precipitación) y terrestre (intercepción de la lluvia, infiltración y derramamiento superficial) del ciclo hidrológico y especialmente de sus interrelaciones. Comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en embalses naturales y artificiales, así como de los factores meteorológicos como la temperatura o el viento.

El desarrollo de esta ciencia ayuda a la comprensión de los fenómenos hidrometeorológicos, así como el desarrollo de sistemas y herramientas hidrometeorológicas que vienen siendo cada día más utilizadas en la observación, predicción, modelización, prevención y alerta temprana, en las áreas de control de inundaciones y aplicaciones específicas para el control y gestión de embalses(...)(CRAHI, 2017).

El acceso a esta interpretación y comprensión de fenómenos se realiza bajo el análisis de los datos producto de la medición de cada variable. Por lo que resulta fundamental, tener una base de datos histórica que muestre la variación de estos datos en el tiempo. Con este objetivo, se han creado instituciones gubernamentales que prioricen el estudio hidrometeorológico en Ecuador como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (2017), el cual expone que “en Ecuador se cuenta con una red de estaciones meteorológicas que abarcan 378 estaciones (entre manuales y automáticas), distribuidas en las diferentes provincias del País” como se muestra en la ilustración1.

Las estaciones mencionadas fueron implementadas con el objetivo de cumplir con varios servicios de la comunidad ecuatoriana, tal como lo especifica su objetivo general: “Contribuir al desarrollo sustentable del país a través del mejoramiento de la calidad y disponibilidad de la información hidrometeorológica, que sirva de base para la planificación territorial, la gestión de los recursos hídricos y la adopción de sistemas de alerta temprana frente a riesgos provocados por eventos naturales” (INAMHI, 2017) .

Por tal motivo, el estudio de los fenómenos climáticos y meteorológicos forman parte importante del desarrollo comunitario. Es así como el INAMHI provee el



## Universidad de Cuenca

Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador creado por Ley, como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de suministrar información vital sobre el tiempo, el clima y los recursos hídricos del pasado, presente y futuro, que necesita conocer el país para la protección de la vida humana y los bienes materiales (INAMHI, 2017). Este servicio proporciona un aporte significativo para la generación de proyectos relacionados, investigación y estudio de la hidrometeorología en el Ecuador actual como en el pasado.

PROVINCIA	AG	CP	CO	PV	PG	TOTAL
AZUAY		3	3	10	1	17
BOLIVAR		3	2	6		11
CAÑAR		2	1	4	1	8
CARCHI		3	4	4		11
CHIMBORAZO		2	5	14	1	22
COTOPAXI	1	3	5	9		18
EL ORO	1	1	8	18		28
ESMERALDAS		2	3	2		7
GALAPAGOS		2	1	3		6
GUAYAS	2	5	4	13	1	25
IMBABURA	1	3	1	14		19
LOJA	1	1	14	40		56
LOS RIOS	1	1	3	8		13
MANABI	2	4	7	34		47
MORONA SANTIAGO		2	3	1		6
NAPO			3	4		7
ORELLANA	1	1	1	3		6
PASTAZA	1					1
PICHINCHA	4	8	3	20		35
SANTA ELENA		1	2	6	1	10
SANTO DOMINGO			1	5		6
SUCUMBIOS		2		3		5
TUNGURAHUA		2	4	5		11
ZAMORA CHINCHIPE			1	2		3
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>51</b>	<b>79</b>	<b>228</b>	<b>5</b>	<b>378</b>

AG = Agrometeorologica

CP = Climatológica Principal

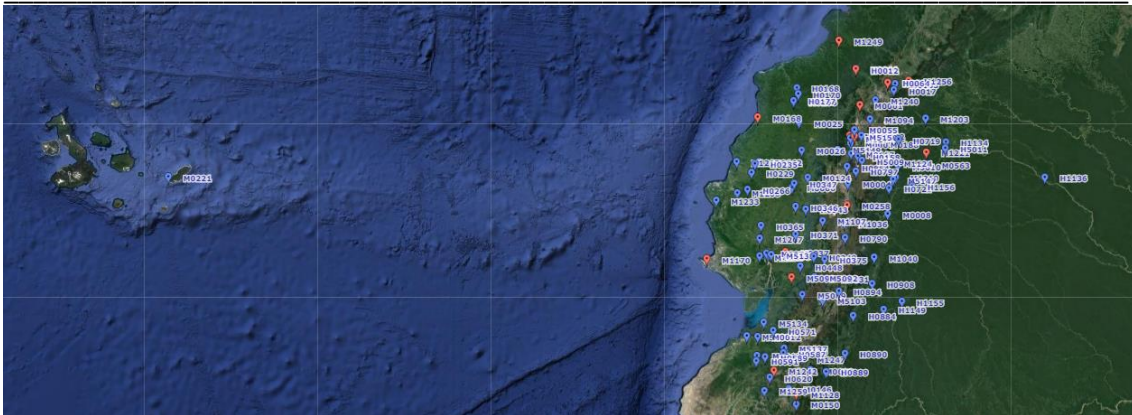
CO = Climatológica Ordinaria

PV = Pluviométrica

PG = Pluviográfica

Ilustración 1. Distribución de las estaciones hidrometeorológicas en el Ecuador. Fuente: INAMHI-2017

Basándose en los datos obtenidos, como se muestra en la ilustración 2, el INAMHI ha realizado proyectos de pronóstico del tiempo y productos, boletines climáticos y agrícolas, modelos numéricos para predicción, investigación y cooperación interinstitucional (INAMHI, 2017). Siendo esto parte importante del estudio hidrometeorológico en el Ecuador. Instituciones educativas de nivel



*Ilustración 2. Distribución gráfica de estaciones hidrometeorológicas automáticas del INAMHI en Ecuador.*

superior como la Universidad Agraria del Ecuador, han aportado con proyectos de alto valor a la sociedad como por ejemplo con: “Efecto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos sobre la producción agrícola y su impacto en las poblaciones rurales de las provincias de: Guayas, Manabí y Los Ríos” (Mayorga, J. 2016).

Con el tiempo varios de estos proyectos suelen quedar obsoletos, por diversas razones como el desconocimiento de lo realizado, la falta de utilización de la información proporcionada, entre otras. Por lo que se demanda herramientas informáticas de acceso público que proporcionen información cruda y procesada de los diversos estudios y datos hidrometeorológicos levantados. De esta manera se puede generar un continuo desarrollo de investigaciones en base a datos históricos y en tiempo real o casi real.

## **1.2 Planteamiento del problema y justificación**

Los fenómenos climatológicos afectan a todo el planeta en diversas formas por lo que, tener información meteorológica es fundamental para la correcta toma de decisiones. Observar el estado actual y predecir cuál será el comportamiento del clima o tiempo en una región constituye la clave para proyectos tales como la implementación de energía solar, térmica o eólica; así como en actividades productivas como la agricultura, las industrias, el turismo, etc.; pues de la correcta predicción mediante las variables meteorológicas dependerá su éxito o fracaso (Oke, T., 1987).

Se debe tener presente que el Ecuador cuenta con varias regiones climáticas que proporciona una gran variabilidad de estados hidrometeorológicos en cortas distancia. Si nos referimos a las provincias de Azuay y Chimborazo, de manera inmediata se nos presenta como obstáculo para un análisis climático, la cadena montañosa de la cordillera de los Andes. Entonces, ¿Qué sucede con los diferentes espacios geográficos que se encuentran entre las estaciones hidrometeorológicas? Empecemos por notar que cada estación emite





información única sobre un lugar específico. Es decir, una estación proporciona datos puntuales de un lugar de características heterogéneas como son: elevación, latitud, longitud entre otras. Por lo tanto, no se cuenta con datos de los lugares en ubicaciones intermedias entre las estaciones y al no pertenecer a una geografía homogénea, es necesario utilizar tecnologías que permitan el análisis climático de estos lugares en donde no se cuenta con una estación física implementada.

La falta de información base meteorológica a nivel nacional, ha provocado que varias instituciones públicas, privadas y universidades instalen y operen estaciones hidrometeorológicas automáticas a lo largo del país. El conocimiento de esta información permite a los gobiernos y las demás partes interesadas minimizar los costos en caso de desastres naturales, mediante medidas preventivas y de mitigación ante sus efectos. Por lo que surge la necesidad de crear una herramienta que permita compartir esta información entre instituciones de educación superior y otros usuarios finales, así como infraestructura para el procesamiento gráfico como parte de un Sistema de Información Geográfica, que sea funcional, eficiente, que presente información en tiempo casi real de uso de suelo y meteorológicos. Para esto se debe buscar métodos y tecnologías que permita obtener y difundir la información de forma rápida y accesible para usuarios públicos y privados.

Una forma de compartir esta información es utilizando geoportales o Portales Geoespaciales, en los cuales se puede acceder a datos vía Internet. La información que existe en los geoportales es muy variada y se puede encontrar datos informativos, turísticos, entre otros. Por lo que, se propone realizar un visor prototipo de datos hidrometeorológicos (temperatura y precipitación), en el que se pueda tomar los datos puntuales de estaciones automáticas y realizar el proceso de interpolación apropiado para su presentación gráfica en formato ráster. Las estaciones automáticas emiten datos periódicamente, por lo que se puede realizar un proceso de interpolación de datos históricos y en tiempo casi real.

Por lo tanto, generar este tipo de información de manera clara y precisa, así como compartirla para que pueda ser utilizada por diversos usuarios de manera gratuita y oportuna, constituye un factor importante para el desarrollo de un país.

### **1.3 Objetivos del proyecto**

El proyecto propone la implementación de un geoportal para centralizar la información proveniente de diferentes estaciones Hidrometeorológicas de las provincias de Azuay y Chimborazo, presentando las siguientes características:





- Geoportal que permite al usuario el acceso a una información centralizada de las diferentes estaciones Hidrometeorológicas, mediante la descarga de reportes con parámetros especificados por el usuario.
- Obtener datos hidrometeorológicos de lugares que no cuentan con una estación cercana. Este resultado se obtiene del cálculo realizado sobre puntos mediante la interpolación de datos de las estaciones adyacentes al lugar de interés.
- Proporcionar una imagen de tipo ráster de temperatura o precipitación, en el que pueda obtener información geoestadística de cada píxel generado en el proceso.
- Permitir al usuario la descarga del ráster generado.
- Crear convenios de emisión de datos con entidades públicas y privadas para la obtención de datos de una mayor cantidad de estaciones. Con lo que se obtendrá una interpolación más cercana con la realidad.

## 1.4 Metodología de la propuesta

El proyecto se dividirá en las siguientes etapas:

- Primera etapa: Análisis y estudio de estaciones hidrometeorológicas automáticas. Sus tipos y métodos de emisión y recepción de datos, configuración y periodicidad de captura de datos.
- Segunda etapa: Estudio de recepción y almacenamiento de datos en estado crudo, métodos de limpieza de datos anómalos, creación de una geodatabase y almacenamiento de archivos en formatos ráster, vectoriales.
- Tercera etapa: Análisis de tecnologías OGC (Open Geospatial Consortium) y elección de software que facilite la utilización de un Web Processing Service (WPS).



- Cuarta etapa: Análisis e Implementación de Base de Datos, Diseño y Desarrollo de la aplicación web.
- Quinta etapa: Creación de Geoservicio web WPS, pruebas y vinculación al sistema desarrollado.
- Sexta etapa: Implementación del sistema en un servidor para su publicación en la web.

## 1.5 Estructura de trabajo de titulación

El presente trabajo de titulación se divide en 5 capítulos, bibliografía y anexos.

- Capítulo 1 Introducción: En este capítulo se da un exordio de la implicación hidrometeorológica en la sociedad, la importancia de su estudio, instituciones que analizan estos datos y áreas comprometidas con su estudio. Se plantea un antecedente y la problemática a estudiar.
- Capítulo 2 Marco teórico: La propuesta tecnológica se basa en la integración de una solución informática a un problema ambiental. Por lo que, en este capítulo se realiza un estudio del tratamiento de las variables hidrometeorológicas, métodos de interpolación, software y tecnologías.
- Capítulo 3 Desarrollo de la propuesta: La aplicación práctica de la metodología presentada, se desarrolla en este capítulo. Se realiza el proceso de implementación de la propuesta, basada en la revisión bibliográfica del capítulo 2.
- Capítulo 4 Conclusiones: El cuarto capítulo provee la síntesis de los principales detalles de la propuesta tecnológica.
- Capítulo 5 Recomendaciones y limitaciones: Al introducir el estudio geoestadístico de datos a un sistema informático, las observaciones y problemas suscitados deben documentarse y generar recomendaciones para una posible ampliación del proyecto o su estudio.
- Bibliografía: Se realiza las citas respectivas de la documentación revisada para el desarrollo de la propuesta tecnológica.



- Anexos: El proyecto pretende publicar los resultados de manera que se encuentren visibles a la sociedad. En este espacio se documenta datos técnicos como la configuración del servidor web y el sistema desarrollado para su consulta en la web.

## 2. Marco teórico

Para varios investigadores, como Membreño & Zavala (2015) una de las grandes necesidades que se presentan en los países en los últimos años, es la realización de estudios donde intervengan variables climáticas como la precipitación y la temperatura, pues permiten el análisis del comportamiento continuo del territorio, facilitando las diferentes actividades que en él se practican. Así también, para Guerra, Gómez, González, & Zambrano (2009) la precipitación y la temperatura son procesos atmosféricos muy importantes en la caracterización de las condiciones ambientales y climáticas de cualquier área terrestre, por lo que el estudio de su distribución y variabilidad necesita ser revisada y evaluada permanentemente, para así ser utilizada en diversos fines de investigación, planificación, ordenación del territorio, prevención de riesgos, entre otros. Por lo tanto la unión de las ciencias informáticas, las tecnologías de información y comunicación (TICs), los estudios ambientales y sus instrumentos proporcionan una solución viable para su estudio, el almacenamiento de datos y su proceso.

La versatilidad de la informática ha permitido el desarrollo de software especializado para la mayor cantidad de áreas de estudio científico. El área ambiental y sus innumerables investigaciones y aplicaciones han dado cabida a la aparición de nuevos conceptos técnicos, manejo de datos con archivos específicos, modelos estadísticos y matemáticos, algoritmos, entre otros. Esto se ha modelado para su proceso informático utilizando herramientas de software y tecnología cada vez más eficaz.

Una iniciativa interdisciplinaria que provea de una herramienta de uso público que facilite el estudio de la hidrometeorología se vuelve necesaria. El entendimiento de los conceptos ambientales, modelos geoestadísticos, archivos, procesos, parámetros y datos a utilizar es indispensable para el desarrollo e implementación de soluciones informáticas prácticas y fiables. Además de la correcta utilización de hardware, sensores y tecnologías utilizadas para la gestión de información ambiental e hidrometeorológica. Por tal motivo, esta sección presenta conceptos utilizados para la gestión de datos ambientales y el proceso de estos.



## 2.1 Geoestadística

Las variables ambientales pueden cambiar drásticamente de valores en lugares parcialmente cercanos debido a la asimetría geográfica del territorio. Es así como para el estudio de estos lugares se debía censar el valor de cada variable en los lugares en cuestión, de manera física y con un observador o técnico capacitado. Este trabajo se complicaba cuando la geografía del territorio se tornaba inaccesible o lejana, esto es causa de pérdida de tiempo y aumento en los recursos humanos, materiales y económicos a utilizar.

La necesidad de poder predecir los valores de las variables ambientales en sitios no muestreados llevó a la realización de investigaciones y el desarrollo de métodos que puedan mitigar esta falta de información. Con el pasar del tiempo y el avance de la ciencia se generó una nueva tendencia en los estudios estadísticos para variables que se encuentran distribuidas espacialmente, esta tendencia es conocida como geoestadística (Díaz, I & Vargas, G. 2012).

La geoestadística es la parte de la estadística descriptiva que permite estudiar fenómenos tomando en cuenta su ubicación en el tiempo y en el espacio. Generalmente, el tratamiento de esta información se realiza a través de medidas descriptivas de tendencia central, de posición y dispersión o variabilidad, de análisis de correlación y regresión. Mientras que para el análisis de variables la geoestadística utiliza métodos de interpolación, encontrándose metodologías específicas para cada zona dependiendo de la variable de interés que se esté estudiando y permitiendo además mejorar la representación espacial de variables climatológicas (González, Guerra, & Gómez, 2007).

“La geoestadística se ha convertido, en una herramienta útil para explicar la variación de propiedades en el espacio y su uso se ha generalizado recientemente y de manera particular para estimar valores de variables en sitios donde no existe información” (Quevedo y Sánchez, 2009). Para autores como Chávez y Moreano (2013) los métodos geoestadísticos constituyen una herramienta útil para atender de manera ágil consultas de la comunidad dirigidas a los servicios meteorológicos nacionales, así como también para evaluaciones climáticas y en especial para determinar las características del clima en áreas con insuficientes registros históricos.

De esta manera la geoestadística proporciona herramientas de alta fiabilidad de aproximaciones muy cercanas a la realidad de la situación de espacios geográficos en donde no se cuenta con información. Este tipo de aproximaciones se pueden realizar en tiempo real si se tiene fuentes de datos inmediatos o de forma histórica utilizando datos almacenados.



## 2.2 Estaciones hidrometereológicas

Los datos hidrometeorológicos de las diversas áreas geográficas se han convertido en una necesidad imperante para el estudio de fenómenos o la elaboración de predicciones climáticas. Por esto se han creado estaciones equipadas con sensores que pueden registrar periódicamente datos hidrometeorológicos del lugar en el que fueron instalados, solventando con esto la necesidad de una base de datos provista de los valores de las variables ambientales del lugar. Para Ureña en su artículo en la revista Posgrado y Sociedad de Costa Rica hace referencia a que: “se puede definir una estación hidrometeorológica como una instalación en la que se tienen una serie de instrumentos destinados a la recolección y registro de las variables meteorológicas según su tipo, ya sean estas, climáticas, sinópticas o marinas” (Ureña, F. 2011).

La fundación española Gas Natural (2011) define a una estación hidrometeorológica como una instalación destinada a medir y registrar de forma regular los valores de diferentes variables meteorológicas. Estos datos se utilizan en las predicciones meteorológicas, como datos de entrada en los modelos numéricos para la predicción del tiempo, en la elaboración de los mapas climáticos. En suma, para conocer el tiempo y el clima de un determinado lugar.

La utilidad de estas estaciones radica en que se puede almacenar información hidrometeorológica por periodos relativamente largos. Esta información puede ser descargada por un observador que visite la estación, de esta forma se libera la memoria interna para almacenar nuevos datos. Estas estaciones pueden ser configuradas para que sus sensores recopilen datos en distintos lapsos de tiempo y unidad de medida establecidas.

### 2.2.1 Estaciones hidrometeorológicas automáticas

Si bien las estaciones hidrometeorológicas proveen de información de lugares alejados o de difícil acceso, esta información debe ser recogida por un observador de manera manual. Esto significa que cualquier proceso o estudio que se desee dar a los datos recopilados por las estaciones, debe esperar a que sean descargados y provistos por el observador encargado. Varios fenómenos ambientales o climatológicos presentan condiciones previas a su desarrollo, por tal motivo el perfeccionamiento de sistemas de alertas



tempranas, evacuación y varios más requieren la recepción en tiempo real de datos hidrometeorológicos.

En tal virtud se crearon las estaciones automáticas, que proveen de datos hidrometeorológicos en tiempo real desde los lugares que se desee. Este procedimiento es imposible de realizar mediante la utilización de estaciones convencionales a menos que, sean atendidas por un observador en forma permanente. El observador debe contar con la tecnología que le permita transmitir la información a un centro de acopio de información como un instituto o departamento meteorológico. Una estación automática está conformada por elementos electrónicos o sensores, central de procesamiento y equipo periférico. La señal obtenida por los sensores es convertida a un código binario y almacenada en memoria para ser enviada hacia una dirección ip (Internet Protocol) pública preconfigurada (Intriago Giler & Romero Mora, 2015).

La Universidad Nacional de Asunción (UNA) en su Facultad Politécnica define a una Estación Meteorológica Automática (E.M.A.), como una herramienta por la cual se obtienen datos de los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, lluvia y otros, leídos por medio de sensores eléctricos. Las lecturas son acondicionadas para luego ser procesadas mediante la tecnología de microcontroladores o microprocesadores, y transmitidas a través de un sistema de comunicación (radio, satélites, teléfono, etc) en forma automática. La estación automática funciona en forma autónoma, las 24 horas, con un sistema de alimentación a través de energía solar (paneles solares), o mediante el uso de la energía eólica (UNA, 2017).

La implementación de una estación de esta naturaleza tiene varias ventajas como, por ejemplo:

- Adquisición de datos en tiempo variable de acuerdo con la necesidad del meteorólogo (durante eventos atmosféricos severos, se requiere mayor cantidad de datos).
- Necesidad de colocar estaciones automáticas en lugares hostiles de difícil acceso.
- Mayor confiabilidad en algunos datos meteorológicos.
- Rapidez en realizar tareas estadísticas.
- Disminución en gastos de personal.

La red de estaciones meteorológicas de la Universidad Nacional de Asunción (2017) utiliza como software de tratamiento de datos a HYDRAS3 (Hydrometry, Meteorology and Environmental Protection Application Software) que es el que se encarga de codificar y tratar los datos en un formato entendible y visible para cualquier usuario común. En forma gráfica y numérica se pueden observar las lecturas que han realizado los distintos sensores, siendo estas mediciones de dos tipos:



- **Mediciones instantáneas:** tomadas por los sensores cada 10 minutos y transmitidas al datalogger cada hora.
- **Mediciones horarias:** adquiridas por sensores virtuales cada hora o cada tres horas (promedia los datos instantáneos).

HYDRAS3, almacena las mediciones tomadas desde la estación automática, permitiendo de esta forma que estos datos puedan ser llamados desde la base de datos en cualquier instante, durante un intervalo de tiempo deseado por el usuario. Con esto se puede realizar estudios estadísticos como por ejemplo temperatura media mensual, semestral, anual, o realizar correcciones de datos (UNA, 2017).

### 2.2.2 Contraste entre estaciones automáticas y estaciones convencionales

Las estaciones convencionales y estaciones automáticas tienen la función de captar, medir y guardar datos hidrometeorológicos a una escala horaria preconfigurada. Una gran similitud es el hecho de que dentro de sus componentes pueden hallarse sensores de marca y modelo similar, por lo que debido a su nivel de sensibilidad se proveerán datos similares. Tomando esto en cuenta hay que determinar mediante sus diferencias, cuál es el tipo de estación idónea para solventar cierto tipo de necesidad.

Ya sea una estación o toda una red de estaciones, debe haber un estudio de factibilidad de su implementación, esto con el motivo de reducir costos y acoplarse de mejor manera a los requerimientos establecidos. Es así como Fernando Ureña Elizondo (2011) hace referencia a: “un plan de implementación de estaciones automáticas en Costa Rica. La distribución de las estaciones meteorológicas automáticas debía ser consecuencia de un plan coordinado y definido para proporcionar datos a los usuarios de acuerdo con sus necesidades”. Para ello había que mantener contacto con el interesado, a fin de establecer una lista de sus necesidades y desarrollar los métodos prácticos para poder satisfacerlas.

Se debe tener presente que, los datos suministrados por los sistemas automáticos no necesariamente deben ser idénticos a los que obtiene un observador que efectúe las mismas mediciones en una estación convencional. Esto se debe a que la sensibilidad del sensor, la frecuencia del muestreo, el tiempo de respuesta y la forma de procesar el dato son diferentes en cada caso. El no conocer las ventajas, limitaciones o características de un equipo de medición podría generar dificultades en futuras investigaciones. Un dato es diferente a otro debido a que en su obtención se altera el método de trabajo,





desde el técnico que instala y da mantenimiento a la estación, hasta la manera en que el usuario o investigador la recibe (Ureña, F. 2011).

Las estaciones automáticas contribuyen a mejorar la normalización de la información meteorológica, ya que con ellas se eliminan algunos problemas del sistema tradicional, tales como: la subjetividad del observador y los errores de digitación. Esta nueva tecnología permite al investigador tener datos libres de error de proceso y posiblemente le permita determinar fenómenos difíciles de medir con instrumentos convencionales, principalmente relacionados con el intervalo de muestreo de las variables meteorológicas (Ureña, F. 2011). Este cambio de tecnología debe ser asimilado con cautela y, el hecho de que la estación sea automática no significa que las tareas se realicen sin supervisión. Por lo tanto, es necesario investigar los cambios que se generan en los registros de datos, con el fin de poder explicar al usuario de la información meteorológica los cuidados, limitaciones y ventajas de estos nuevos registros.

Los inicios de la automatización de la meteorología, se produjo con las primeras tentativas de adquirir datos automáticamente en zonas alejadas de centros de población o lugares inaccesibles del planeta. Con esto se reduce al mínimo el esfuerzo humano, limitándose a la instalación configuración y mantenimiento de las estaciones automáticas en lugares de difícil acceso. Hoy en día las estaciones meteorológicas automáticas sirven en general para complementar la red básica de observaciones manuales. Lo hacen proporcionando datos de lugares de difícil acceso o, en las estaciones dotadas de personal, efectuando la recopilación de datos fuera de horario normal de trabajo de los observadores. La automatización puede servir para satisfacer toda una gama de necesidades que van, desde una ayuda al observador de estaciones completamente dotadas de personal, pasando por la sustitución del observador por la noche o durante los fines de semana, hasta la obtención de datos en tiempo real por medio de transmisión satelital desde cualquier punto que así se requiera o se necesite (UNA, 2017). Con la puesta en operación de las estaciones automáticas, la tendencia general de las instituciones es sustituir a los observadores y estaciones manuales ordinarias.

En conclusión, las estaciones convencionales necesitan de un observador que pueda realizar el proceso de descarga de los datos en el tiempo que se desee, por lo tanto, se aconseja instalarla en lugares donde el tratamiento de los datos se haga de manera local o cercana a la estación. Por otra parte, las estaciones automáticas no necesitan de un observador, pero si de un supervisor que paulatinamente monitoree el funcionamiento y coherencia de los datos. Además, el envío y recepción de los datos se lo realiza comúnmente por GPRS (General Packet Radio Service) por lo que esto conlleva un gasto permanente al contratar planes de transmisión satelital o con empresas de telefonía móvil. Estas estaciones proveen de varias funcionalidades adicionales como son la configuración remota, alertas de posibles daños, advertencia de datos





anómalos y la emisión de datos en tiempo real. Se sugiere la instalación de estaciones automáticas si se carece de un observador, las estaciones se encuentran muy dispersas, se necesitan datos de lugares lejanos o inaccesibles o si se requiere hacer el proceso de datos en tiempo real.

### 2.3 Almacenamiento de datos geoespaciales.

Durante las décadas de los 60 y 70, investigadores y usuarios de almacenes de datos crearon motores de bases de datos para eliminar la información repetida además de generar varios métodos de almacenamiento para las diversas naturalezas de estos datos. Estos métodos originaron los parámetros que se siguieron para la implementación de los sistemas de bases de datos actuales. IBM (International Business Machines) desarrolló muchos de los pilares para la implementación de estos modelos, que aún están en uso. “Los diseños iniciales se basaban en la eficiencia, una forma de optimizar los sistemas era forzar registros de longitud fija en las bases de datos, o al menos tener un número fijo de elementos por registro (columnas por filas), esto evita el problema de los datos repetidos” (Novella, J. 2012). Por lo tanto, era necesario encontrar la forma de estructurar la información de forma conveniente, y los diseñadores lo solucionaron introduciendo distintos tipos de datos primitivos y complejos en las bases de datos.

Los archivos de datos del tipo ráster y vectoriales se gestionan en infraestructuras de motores de bases de datos comunes con componentes adicionales, que permiten el almacenamiento y gestión de este tipo de datos complejos. Uno de estos tipos de bases de datos toma el nombre de bases de datos espaciales o geodatabases. Se utilizan para almacenar datos espaciales o, en otras palabras, los datos relacionados con los espacios en el mundo físico, las partes de los organismos vivientes, el diseño en ingeniería y muchos otros espacios de interés. La información en una base de datos espacial suele capturarse inicialmente en forma de imágenes digitales, lo que hace que estos sistemas se conozcan también como bases de datos pictóricas o de imágenes. La integridad de este tipo de bases de datos se basa en restricciones de dominio (tipo de dato y rangos de valores), claves y relaciones (valores únicos y existencia de la clave en otras tablas: integridad referencial), restricciones de integridad semántica (reglas normalmente lógicas, que definen si se puede o no insertar un elemento en función del estado representado en la base de datos) (Manso, 2010).

Por lo tanto, los diversos tipos de datos o archivos complejos tienen una definición propia que se adhiere a un modelo que satisface una cierta necesidad. Conocer las propiedades de un archivo complejo beneficia la



correcta utilización de este, un almacenamiento eficaz y una respuesta óptima al proceso que se desee ejecutar.

### 2.3.1 Geodatabase

Las Geodatabases nacen como respuesta a la necesidad imperante de un sistema de almacenamiento de datos espaciales. Es así como ArcGIS (2017) define a una geodatabase como “una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistemas de archivos común, por lo que trabaja con información geográfica en numerosos formatos de archivo del Sistema de Información Geográfica (SIG)”.

Una geodatabase debe manejar grandes colecciones de objetos geométricos, como cientos de miles o millones de polígonos. Esto significa que debe ser capaz de recuperar una selección de objetos, sin consultar cada objeto almacenado. Esto significa que las bases de datos espaciales deben usar la indexación espacial (un sistema de numeración empleado para seleccionar elementos de una lista) y usar una fórmula matemática eficiente, o algoritmo, para conectar o unir objetos espaciales de diferentes clases entre sí (Novella, J. 2012).

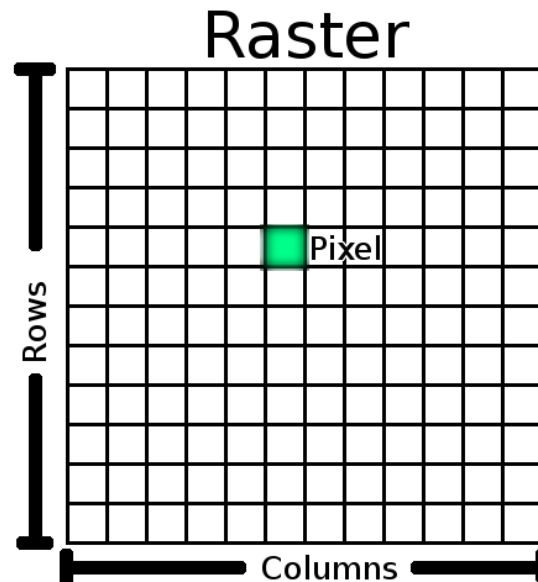
Una base de datos SIG (Base de datos espacial o Geodatabase) incluye datos sobre las ubicaciones espaciales y las formas de las características geográficas registradas como puntos, líneas, áreas, píxeles, celdas de cuadrícula o TIN (Triangulated irregular network), así como sus atributos.

En consecuencia, las Geodatabases proporcionan métodos óptimos de almacenamiento y gestión de datos o archivos espaciales complejos. Una de las vistas principales de la geodatabase es como un modelo de datos para representar información geográfica utilizando tecnología de base de datos relacional estándar. Un segundo aspecto igualmente importante es la forma en que la geodatabase gestiona el acceso y almacenamiento de datos mediante estándares de tecnologías SIG (Bravo, E. & Montenegro, P. 2011).

### 2.3.2 Ráster

Una forma plausible de presentar información es de manera gráfica, ya que da una representación holística de fácil interpretación, simplificando la comprensión del usuario. Existen varios tipos de archivos que pueden representar información de tipo gráfico, una de ellas es el formato ráster que QGIS (2017) en su página oficial menciona que: “un archivo ráster es una matriz con valores en sus celdas”. A diferencia de las entidades vectoriales que utilizan geometría (puntos, polilíneas y polígonos) para representar el mundo

real, los datos ráster toman un enfoque diferente. Los ráster se componen de una matriz de píxeles (también llamadas celdas), cada uno con un valor que representa las condiciones de la zona cubierta por dicha celda (ver ilustración 3).



*Ilustración 3. Ráster. Fuente: QGIS-2017*

Un conjunto de datos ráster está compuesto de filas (corriendo de un lado a otro) y columnas (corriendo hacia abajo) de píxeles (también conocidos como celdas). “Cada píxel representa una región geográfica, y el valor en ese píxel representa alguna característica de dicha región” (QGIS, 2017).

En resumen, un archivo ráster contiene información en cada uno de sus píxeles y de esta manera puede mostrar un panorama general de la distribución de una variable específica, de forma gráfica, debido a su coloración. Esto facilita a geoestadistas y estudiantes la realización de un análisis objetivo de espacios geográficos de interés, pudiendo acceder a sus valores a través metadatos.

### 2.3.3 Shapefile

Si se desea procesar un conjunto de datos discretos se pueden crear tablas o archivos de datos primitivos que pueden ser legibles distinguiendo los datos con algún separador, comúnmente comas. Esta es una manera poco ortodoxa de tratar la información geoespacial, debido a que existen estructuras de datos que proporcionan toda esta información de forma ordenada y gráfica como son los shapefiles. Según el Environmental Systems Research Institute ESRI (2016): “Un shapefile es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos



asociados a ellos”. No obstante, carece de capacidad para almacenar información topológica. Es un formato multiarchivo, es decir está generado por varios ficheros informáticos. El número mínimo requerido es de tres y tienen las extensiones siguientes:

- .shp: es el archivo que almacena las entidades geométricas de los objetos.
- .shx: es el archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- .dbf: es la base de datos, en formato dBASE, donde se almacena la información de los atributos de los objetos.

Además de estos tres archivos requeridos, opcionalmente se pueden utilizar otros para mejorar el funcionamiento en las operaciones de consulta a la base de datos, información sobre la proyección cartográfica, o almacenamiento de metadatos. Estos archivos son:

- .prj: Es el archivo que guarda la información referida al sistema de coordenadas en formato WKT (Well Known Tex).
- .sbn y .sbx: Almacena el índice espacial de las entidades.
- .fbn y .fbx: Almacena el índice espacial de las entidades para los shapefiles que son inalterables (solo lectura).
- .ain y .aih: Almacena el índice de atributo de los campos activos en una tabla o el tema de la tabla de atributos.
- .shp.xml: Almacena los metadatos del shapefile.

La principal ventaja de la utilización de los shapefiles es que se simplifica la compatibilidad de este tipo de archivos a la vez que se reduce su tamaño respecto a otros sistemas de representación vectorial. El uso de metadatos proporciona un mejor manejo de estos archivos a la vez que mantienen estándares en su estructura, pudiendo ser cargados en las diversas plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). De esta manera los shapefiles proporcionan información útil y versátil almacenada en un solo archivo de fácil gestión para procesos geoespaciales.

## 2.4 Métodos de interpolación

El muestreo de datos discretos en puntos geográficos dispersos ha mejorado el estudio de fenómenos tras el censo continuo de las distintas variables medibles. Una de las limitaciones de las redes de nodos dedicados a medir estados de las distintas variables, es que no se conoce el estado de los espacios intermedios a los puntos de medición.

Una interpolación consiste en hallar uno o varios datos dentro de un espacio geográfico o un intervalo en el que se conocen los valores en los extremos.



Para Quevedo y Sánchez (2009) se define a la interpolación como “un método científico lógico que consiste en determinar cada una de las variables en las formas en las que se pueden reproducir y cómo afectan al resultado del objetivo o fenómeno estudiado. Pero no sólo basándose en su relación estadística sino también en su causalidad”. Esto constituye las reglas que se utilizan para llegar a una nueva conclusión, siempre de forma aproximada (González, J., Guerra, F., & Gómez, H. 2007). Es decir, se considera todas las situaciones posibles y sus repercusiones y se interpola a la nueva situación por analogía o inducción.

“En numerosos fenómenos de la naturaleza observamos una cierta regularidad en la forma de producirse, esto nos permite sacar conclusiones de la marcha de un fenómeno en situaciones que no hemos medido directamente” (Rocha, O. 2014). Por lo tanto, la utilización de la interpolación como medio de aproximación a datos desconocidos, es una herramienta de alto impacto positivo al estudio de diversos fenómenos. Por esta razón, investigadores han desarrollado varios tipos de interpolaciones que se acoplan a características heterogéneas, como son Ordinary Kriging o Cokriging, que permiten una mejor estimación de las variables según las características del entorno.

#### **2.4.1 Ordinary Kriging**

El término kriging aparece alrededor de los años 60, con el objetivo de identificar a la técnica de correlación espacial y del mejor estimador lineal insesgado utilizada por el investigador D. G. Krige. “Esta técnica nace en Francia por Matheron, que basado en los trabajos de Krige, evaluaba los yacimientos de minerales” (Zucarelli, A., Paris, M., & Macor, J. 2014). Es así como Díaz Viera (2002) en su trabajo Geoestadística Aplicada define a: “Kriging como un término que se ha sido acuñado para designar al mejor estimador lineal insesgado de un punto y al mejor promedio lineal móvil ponderado de un bloque”.

Ordinary Kriging es una técnica local que ofrece una mejor estimación de una característica desconocida que se estudia. La limitación a la clase de estimadores lineales es bastante natural, ya que esto significa que solamente se requiere el conocimiento del momento de segundo orden de la función aleatoria (la covarianza o el variograma) y que en general, en la práctica, es posible inferir a partir de una realización de esta (Díaz, M. 2002).

En conclusión, el método de interpolación Ordinary Kriging utiliza una red de puntos espaciados para generar las superficies. Este método utiliza el promedio móvil ponderado, al asumir que un patrón de variación puede ser



aplicado en toda la superficie que define el conjunto de datos. El objetivo del Ordinary Kriging es no imitar directamente la realidad, sino que sigue las tendencias generales de puntos de datos.

#### **2.4.2 Cokriging**

Los métodos de regresión tradicionales usan únicamente datos disponibles en la ubicación de destino y no pueden usar las correlaciones espaciales existentes de los puntos de control de datos secundarios y el atributo principal que se va a estimar.

A diferencia de esto Cokriging aprovecha la covarianza entre dos o más variables regionalizadas que están relacionadas, y son apropiadas cuando el principal atributo de interés (datos de pozo) es escaso, pero la información secundaria relacionada es abundante. Los métodos de integración de datos geoestadísticos producen modelos más confiables porque aprovechan las fortalezas de ambos tipos de datos (Journel, A.G. 1989).

El comportamiento espacial mutuo de las variables regionalizadas (VR) se conoce como correionalización. Cokriging requiere que se cumplan las mismas condiciones que kriging, pero exige más variografía, modelado y tiempo de cálculo. Curiosamente, sin embargo, el efecto de soporte se maneja en Cokriging a través de la función de covarianza cruzada, de modo que muchos tipos diferentes y escalas de datos se integran fácilmente (Daniele, 2009).

En resumen, el método cokriging aprovecha el hecho de que cuando la variable auxiliar está ampliamente correlacionada con la variable de interés se puede obtener una disminución en la varianza de predicción. En situaciones en las que la variable objetivo tiene costos altos de muestreo o el lugar está en una ubicación inaccesible se recomienda aplicar Cokriging (Bogaert et al., 1995).

#### **2.4.3 Contraste de Ordinary Kriging con Cokriging**

El método de interpolación elegido en mapas de contorno o rasterización de espacios geográficos puede afectar la precisión de la superficie resultante, dependiendo de la extensión de los datos originales. Los métodos de interpolación están programados para hacer diferentes hipótesis basadas en la información obtenida en una red de nodos y su geografía. Por esta razón, algunos conjuntos de datos o cartografía objetivo presentan un panorama más



eficiente a un método de interpolación que a otro. El objetivo de elegir el método de interpolación adecuado es generar superficies con un grado de precisión más exacta para la representación, análisis o evaluaciones de datos en espacios carentes de valores.

Caguana (2017) en su trabajo de titulación “Utilización de herramientas geoestadísticas para la generación de información espacial meteorológica en la provincia del Azuay”, realiza una comparación entre métodos geoestadísticos que permiten la obtención de una imagen en formato ráster a través de una interpolación basada en el muestreo de datos en puntos específicos. “La interpolación o estimación espacial consiste en estimar el valor que asume la variable de estudio para diferentes puntos dentro de la región, en base al semivariograma que define la correlación espacial existente entre los valores muestrales” (Caguana, T. 2017).

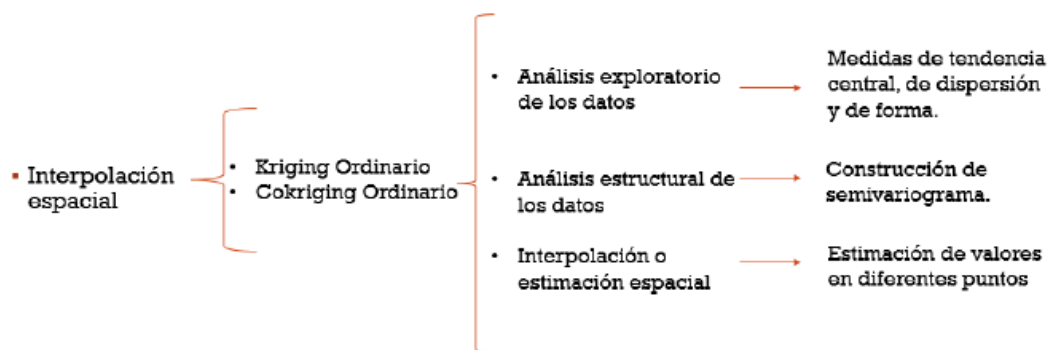


Ilustración 4. Utilización de herramientas geoestadísticas para la generación de información espacial meteorológica en la provincia del Azuay. Fuente: Caguana-2017

Como se visualiza en la ilustración 4, Caguana muestra que Kriging y Cokriging son métodos estadísticos que se utilizan para la interpolación cartográfica y de contorneado. Los dos métodos tienen fuertes similitudes, debido a que son formas generalizadas de modelos de regresión lineal univariante y multivariante o se los puede definir también como métodos de premediación ponderada lineal, similar a otros métodos de interpolación; sin embargo, sus pesos no dependen únicamente de la distancia, sino también de las características de los datos vecinos (Ahmadi & Sedghamiz, 2008). Básicamente, van a asignar un ponderado a cada valor de la variable de análisis para poder estimar un valor desconocido.

Considerando esto, es necesario develar las diferencias entre Kriging y Cokriging que permitan la óptima elección de un método aplicable a la interpolación de datos hidrometeorológicos.





Ordinary Kriging es un método geoestadístico de predicción, que designa al "mejor estimador lineal insesgado" de un punto o un bloque. Presentando según Oliver & Webster (2015) las siguientes ventajas:

- Ordinary Kriging predice el valor desconocido basado en modelos estocásticos, siendo el más robusto con respecto a las desviaciones de los supuestos subyacentes.
- Es aplicable para varias situaciones con hipótesis fácilmente verificables.
- Para trabajar con este método solo se necesita los datos de estudio y las coordenadas geográficas a la que pertenece cada dato.
- Ordinary Kriging se basa en la suposición de que todos los datos son aleatorios y que son espacialmente dependientes, en el cual la variable es estacionaria con media y varianza constante, que dependen únicamente de la distancia en que se encuentran los puntos muestreados.

Cokriging por otra parte es una estimación conjunta de variables aleatorias regionalizadas. Según Giraldo (2002) las ventajas de Cokriging son:

- La variable auxiliar está ampliamente correlacionada con la variable de interés.
- La escasez de la variable objetivo puede ser complementada con la obtención de la variable auxiliar.
- Se puede obtener una disminución en la varianza de predicción, no obstante, dicha variable tiene menor densidad de muestreo.
- En situaciones en las que la variable objetivo tiene costos altos de muestreo se recomienda la aplicación de esta metodología.

En conclusión, los dos métodos de interpolación presentan una alternativa de obtención de valores aproximados de una variable en un lugar donde no se ha producido una medición directa. Para esto utilizan modelos de regresión lineal univariante y multivariante valiéndose no solo de los pesos de las variables sino también de las características de los datos adyacentes y su geografía. Su diferencia más notoria radica en que Ordinary Kriging utiliza la correlación espacial para determinar los coeficientes en el estimador lineal, mientras que Cokriging utiliza la correlación espacial y la correlación entre funciones aleatorias al mismo tiempo. Por lo que es necesaria una validación técnica de cada método de interpolación candidato, en el ambiente en el que se desea implementar.





---

#### 2.4.4 Validación de método de interpolación a utilizar

El objetivo de utilizar un método de interpolación es el de obtener datos aproximados a los reales, en lugares en donde no se tiene información o medios de obtención de estos. Por lo tanto, se debe validar y adoptar el método que permita el menor error posible en la proximidad del valor obtenido con el valor real. Caguana (2017) expone que existen varias técnicas para determinar qué tan confiable es el método de interpolación que se utiliza y que tan validas fueron las decisiones tomadas. El método más utilizado es la validación cruzada (técnica de Jackknife), la cual consiste en eliminar uno de los valores de la variable de estudio, calcular el semivariograma de estos datos y estimar el valor que se eliminó anteriormente.

En una investigación realizada por Adisoma (1993) se determina que “la utilización de la técnica Jackknife complementa mejor el uso del Kriging Ordinario, pues muestra superioridad en comparación con otras técnicas de validación y además maximiza la utilización de los datos estimados”. Para realizar una validación cruzada es recomendable que la base de datos con la que se haya realizado la interpolación sea amplia, pues de ello dependerá la eficacia en la determinación de la funcionalidad del método utilizado (Zhang & Wang, 2010).

Para optimizar los resultados de la interpolación geoestadística Pesquer, Masó & Pons (2007) sugieren “realizar un análisis de las variables meteorológicas juntamente con técnicas de interpolación espacial y procedimientos de análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG)”.

Caguana (2017) muestra los resultados obtenidos por la validación cruzada en la ilustración 5. Se obtuvieron errores menores para los modelos de Kriging, con ello se ratifica lo manifestado por Ly, Charles, & Degre (2011), en cuya investigación determinaron que “el mejor método geoestadístico para el manejo de datos de precipitación es Kriging Ordinario, debido a que Cokriging no mejoró la precisión de la interpolación”, y también lo expuesto por Mahir & Fares (2011) quienes con referencia a Cokriging mencionan que “la información secundaria mejora la predicción del método cuando la correlación entre las variables de estudio (precipitación-temperatura) y la variable auxiliar (elevación) es más alta de 0.75”.



	Método	Modelo	Media	MSS	RMSE	KSE	RMSE- KSE	RMSS
a)	Kriging	Esférico	0.007	-0.180	0.054	0.025	0.029	1.979
		Exponencial	0.004	-0.027	0.040	0.020	0.020	1.204
		Gausiano	0.004	-0.183	0.053	0.002	0.051	1.227
	Cokriging	Esférico	0.006	-0.180	0.055	0.025	0.029	1.979
		Exponencial	0.004	-0.090	0.050	0.023	0.037	1.976
		Gausiano	0.005	-0.122	0.051	0.035	0.016	1.378
b)	Kriging	Esférico	-0.013	-0.045	1.096	1.009	0.087	1.232
		Exponencial	-0.010	-0.041	1.079	1.006	0.073	1.222
		Gausiano	-0.009	-0.029	1.064	0.996	0.068	1.196
	Cokriging	Esférico	-0.027	-0.042	0.843	0.986	-0.142	1.072
		Exponencial	-0.022	-0.048	0.854	0.968	-0.114	0.984
		Gausiano	-0.029	-0.054	1.058	1.114	0.143	1.172

Ilustración 5. Parámetros estadístico Validación. a) Precipitación, b) Temperatura. Fuente: Caguana-2017

Según el planteamiento de Caguana (2017) Ordinary kriging y Cokriging son métodos robustos utilizados para interpolar. Su diferencia radica en el valor ponderado de la variable de análisis, la dependencia espacial de los datos, la correlación de la variable de interés con la variable auxiliar y el costo de los muestreos. Por lo que si se tienen los datos de estudio y las coordenadas geográficas a la que pertenece cada dato como es el caso del presente proyecto, la opción más viable es la utilización de Ordinary Kriging.

Adicionalmente se muestra que el modelo Ordinary Kriging presenta un error menor al de Cokriging. En tal virtud, se analiza que los datos obtenidos provienen de estaciones automáticas con periodicidad configurable, se puede añadir más fuentes de datos externas, las fuentes de datos son estáticas y se puede realizar una limpieza de datos históricos con eliminación de datos anómalos por promediación. Por lo que, el método idóneo para el contexto de interpolación de datos hidrometeorológicos (Temperatura y Precipitación) es Ordinary Kriging.

## 2.5 Sistemas de información geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica aparecen en la década de los sesenta como respuesta a: la necesidad creciente de información geográfica al igual que su óptima gestión y uso, y la aparición de los primeros computadores. Burrough y McDonnell, 1998 citados en García-Martí et al (2004) expresan que: “el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) y la aplicación de



la geoestadística han supuesto un nuevo impulso al análisis de la distribución espacial aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales”.

El IGM Instituto Geográfico Militar (2017) define a los Sistemas de Información Geográfica como el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información (TI) a la gestión de la Información Geográfica (IG). De esta manera se ha provisto a la geoestadística y áreas afines de una herramienta de gran utilidad en la automatización y gestión de procesos con datos geográficos, además de proporcionar métodos eficientes de almacenamiento. Es así que investigadores como Abad (2014) definen a las Tecnologías de Información Geográfica (TIG), como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Geoestadística, como herramientas robustas que permiten apoyar a los expertos en la obtención de mapas continuos de precipitación y temperatura a partir de datos puntuales como son los registros de las estaciones de medición.

La utilización de los Sistemas de Información Geográficas SIG se han convertido en una herramienta de mucha utilidad, pues permiten representar la información de una manera más didáctica mejorando así el análisis de los datos procesados y resultantes. En consecuencia, las herramientas SIG han tenido gran auge llegando a la creación de varias herramientas geoinformáticas especializadas en el almacenamiento, procesamiento de datos y generación de información geográfica con la utilización de los algoritmos desarrollados por investigadores e implementados por los técnicos informáticos.

### **2.5.1 Herramientas de software SIG**

El almacenamiento de datos y archivos geográficos especializados, así como su procesamiento o generación, han sido los impulsores para la creación de una gama de software encargado de la gestión de datos e información geográfica. Estos sistemas informáticos proveen de una extensa cantidad de algoritmos que automatizan métodos que comúnmente toman lapsos extensos de tiempo en realizarse y son propensos a fallos humanos.

González & Cáceres (2015) realizan una comparación entre tecnologías SIG, evaluando cada software con los parámetros establecidos por la ISO 9126-3. Su trabajo contrasta a diferentes herramientas con proyectos realizados, su utilidad y sobre todo su buen despliegue y ejecución en cierto campo o problemática a resolver. Por ejemplo:

- Hijmans R., et al. (2002) plantea que DIVA-GIS es un SIG creado en Perú, haciendo uso de uDig, con el fin de realizar el mapeo y análisis del crecimiento de la papa. Permitiendo una mejor distribución del producto en los mercados locales.



- Eurobios – Route Planing and Logistics (E-RPL) es un SIG que permite realizar la programación de rutas y horarios de recolección de basura de manera optimizada (Eurobios, 2009).
- En Vigo, España, se ejecutó un proyecto titulado “Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas” (Ordoñez C., Varela M. y Reyes A., 2011) en donde se usan los programas gvSIG y R para la prevención y atención de incendios en la provincia mencionada.
- A nivel de Colombia cabe destacar el Sistema de Información Geográfica de Ordenamiento Territorial (SIG-OT), sistema que facilita el acceso y uso de información georreferenciada para la toma de decisiones territoriales, el desarrollo de dicho sistema está regido bajo la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales y hace uso de la herramienta gvSIG” (González, J & Cáceres, G. 2015).

El presente proyecto pretende proporcionar una herramienta que facilite una interpolación de datos hidrometeorológicos, utilizando Ordinary Kriging, que perdure en el tiempo. Existe una variedad de software que provee dentro de sus funcionalidades este proceso de interpolación. Por tal motivo se presentan como herramientas de software SIG candidatos para la ejecución de la interpolación de datos hidrometeorológicos a partir de valores proporcionados por estaciones automáticas a ArcGIS, R y QGIS. Debido a que la elección del software apropiado es muy importante al momento de realizar este proceso.

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI. Al ser un software propietario, se debe adquirir su licencia de funcionamiento. Contiene desarrollado y documentado todos sus componentes y procesos GIS además de soporte permanente (ArcGIS, 2017).

R es una implementación de software libre del lenguaje S pero con soporte de alcance estático. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en investigación por la comunidad estadística, siendo además muy popular en el campo de la minería de datos, la investigación biomédica, la bioinformática y las matemáticas financieras. A esto contribuye la posibilidad de cargar diferentes bibliotecas o paquetes con funcionalidades de cálculo y gráficas (R Project, 2018).

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre. La mayor ventaja que provee es su integración con herramientas procedentes de otros proveedores de la mano del plugin Processing como son: GRASS, SAGA, Monteverdi, GDAL/OGR y hasta R. Permitiendo la ejecución de los algoritmos de cualquier proveedor mediante el envío de parámetros mediante scripting (QGIS, 2017).



Bajo los criterios presentados en la norma ISO 9126-3 para estándares de calidad y tomando en cuenta una de las conclusiones del trabajo de Gonzáles y Cáceres que dice: “cabe aclarar que los resultados de la comparación entre herramientas tecnológicas dependen de la aplicación que se vaya a desarrollar, y por ende de las funcionalidades que esta requiera” (González, J & Cáceres, G. 2015).

Se escoge entre las herramientas candidatas a QGIS, debido a que:

La aplicación debe perdurar en el tiempo, por lo que su libre distribución no conlleva una inversión monetaria permanente para la utilización del software. Se puede automatizar procesos de varios proveedores mediante scripting y su interfaz gráfica, permitiendo un mayor número de procesos en un solo Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) incluyendo a R. Documentación siempre actualizada y una comunidad de desarrollo y aportes activa.

## 2.6 Tecnologías web

Desde que el informático inglés Tim Berners-Lee, pretendiera crear un sistema que permitiera a los investigadores de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) en Ginebra-Suiza compartir fácilmente la información y se pusiera en marcha el primer servidor de páginas web de la historia en diciembre de 1990, las posibilidades de la utilización de las tecnologías web se han vuelto innumerables (Lujan, S. 2002).

La creación de los sistemas web, de diversas naturalezas, ha evolucionado de manera que existen varias tecnologías disponibles para dar solución a los distintos problemas o necesidades que se requiera solventar. La gama de servicios que la conexión web provee, van desde aplicaciones informativas con tecnologías multimedia hasta la ejecución remota de procesos de alta complejidad computacional. De esta manera la versatilidad de las tecnologías web ha permitido un amplio desarrollo no solo en el ámbito de la compartición de información sino en el área académica, de negocios, empresarial, de servicios, laboral, entre otras.

Uno de los obstáculos que tuvo que afrontar el desarrollo de sistemas web es la escalabilidad, es decir la posibilidad de adaptarse o de implementar servicios, requerimientos adicionales o cambios después de haber concluido con un proyecto (Godino, F. 2013). Una de las varias iniciativas para resolver el problema que presenta la escalabilidad es la intercomunicación entre sistemas, es decir la utilización de sistemas paralelos con el fin de aumentar las prestaciones al usuario de una forma transparente, siendo la tecnología mas utilizada los servicios web.



---

### 2.6.1 Servicios web

Ante la creciente demanda de tecnologías que permitan el intercambio de información entre sistemas web, nace como una de las soluciones más viables y aplicables los servicios web. Andrés Pastorini (2012), en su trabajo “Servicios Web”, define a este término como: “un conjunto de servicios para ser consumidos a través de la red”. En otras palabras, un servicio web especifica un conjunto de operaciones (funciones que retornan determinado valor, reciben un conjunto finito de parámetros, y retorna un resultado), a través de una url, donde una aplicación de cliente remoto los puede consumir.

Esta tecnología brinda la característica de ser agnóstica, es decir un servicio web implementa una colección de protocolos abiertos y estándares usados para el intercambio de datos entre aplicaciones o sistemas heterogéneos. Investigadores como Besteiro y Rodríguez (2013) se refieren a un servicio Web como: “un servicio ofrecido por una aplicación que expone su lógica a clientes de cualquier plataforma mediante una interfaz accesible a través de la red utilizando tecnologías (protocolos) estándar de Internet”. Por lo que existe software ejecutándose en distintas plataformas, y escritos en distintos lenguajes de programación que a través del uso de estos protocolos estándares se comunican entre sí.

Un servicio web debe ser publicado en la web para su consumo y explotación, de otra forma no podría ser utilizado. Cuando se expone un servicio web, se publica un archivo wsdl (Web Services Description Language) en el servidor web, donde se muestran sus operaciones, parámetros, tipos de retorno, dirección para invocar el servicio, etc. Existe otro enfoque para el diseño de servicios web, denominado Restful (Representational State Transfer), donde, resumidamente, en vez de publicar operaciones, se publican identificadores de recursos, para poder accederlos de forma remota (Pastorini, A. 2012).

En conclusión, la idea de los servicios es la de prestar utilidades adicionales a las que el sistema posee, aunque éstos no tienen por qué estar en el mismo ordenador que el cliente. Además, son accedidos a través de un servidor Web y de un modo independiente de la plataforma, utilizando protocolos estándar.

### 2.6.2 Protocolos estándar utilizados en servicios web

Los servicios web al ser agnósticos deben utilizar estándares para su comunicación. Estos estándares se definen en diferentes etapas dentro del ciclo del servicio web (Besteiro, M & Rodríguez, M. 2013). Como se puede observar en la ilustración 6.



Ofrece un directorio de servicios en Internet

Ofrece un modo de definir los servicios

Permite invocar métodos de los servicios.

Permite a los consumidores de servicios enviar y recibir mensajes a y de los servicios

Son protocolos abiertos de Internet. Dan soporte a las capas superiores.

<b>UDDI</b> Encontrar
<b>WSDL</b> Describir
<b>SOAP</b> Invocar
<b>XML y XML Schema</b> Datos
<b>HTTP, SMTP, TCP...</b> Transporte

Ilustración 6. Pila de protocolos de los WebServices. Fuente: Besteiro, M & Rodríguez, M-2013

Andrés Pastorini (2012) define a los principales protocolos estándar para un Web Service, de la siguiente manera:

- **XML-RPC** (Extensible Markup Language - Remote Procedure Call). Protocolo simple basado en xml para el intercambio de información entre sistemas. Las respuestas son embebidas en el cuerpo de la respuesta HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Los Requests son codificados en xml y enviados vía HTTP POST. Es independiente de la plataforma.
- **SOAP** (Simple Object Access Protocol). Protocolo de comunicación basado en xml para intercambio de mensajes entre sistemas. Especifica un formato para el intercambio de mensajes es independiente del lenguaje y de la plataforma. Es extensible y desarrollado por la World Wide Web Consortium (W3C).
- **WSDL** (Web Services Description Language). Es un formato estándar basado en xml para describir servicios web y mostrar cómo acceder a ellos.
- **UDDI** (Universal Description, Discovery and Integration). Es un lenguaje estándar basado en xml para describir, publicar y encontrar servicio web. Es independiente de plataforma y puede comunicarse mediante SOAP, CORBA y JAVA Rmi.

Estos estándares son un conjunto de tecnologías orientadas a brindar beneficios a la mayor cantidad de usuarios, asegurando la vigencia de todo sitio y servicio publicado en la web. Permite el acceso a más usuarios y desde



todo dispositivo de acceso a internet. Esto hace más sencillo los procesos de mantenimiento y actualización.

## 2.7 Geoprocesamiento web

Uno de los grandes avances en el desarrollo de la web a sido el geoprocesamiento web, que tiene por objetivo proporcionar herramientas y un marco de trabajo para realizar análisis y administrar datos geográficos a través de la conexión a internet o una red. Las capacidades de modelado y análisis que proporciona el geoprocesamiento hacen que los sistemas de información geográfica SIG sean más completos (ArcGis, 2018).

El geoprocesamiento web proporciona un amplio conjunto de herramientas para realizar tareas SIG que van desde simples zonas de influencia y superposiciones de polígonos a complejos análisis de regresión y clasificación de imágenes. Los tipos de tareas que se pueden automatizar pueden ser rutinarias, por ejemplo, alternar un grupo de datos de un formato a otro, o las tareas pueden ser bastante creativas, mediante una secuencia de operaciones para modelar y analizar las relaciones espaciales complejas, por ejemplo, calcular las rutas óptimas a través de la red de transporte, predecir la ruta de un incendio, analizar y buscar patrones en ubicaciones de delitos, predecir qué áreas son propensas a derrumbes o predecir los efectos de inundación de una tormenta (Asato, G. 2011).

El geoprocesamiento web se basa en un entorno de transformación de datos transmitidos por una red. Una herramienta de geoprocesamiento web típica realiza una operación en un dataset (tal como una clase de entidad, un ráster o una tabla) y produce un nuevo dataset como el resultado de la herramienta. Cada herramienta de geoprocesamiento realiza una operación pequeña pero esencial en los datos geográficos (Bonham-Carter, G.F., 1994).

En definitiva, el geoprocesamiento web permite conectar secuencias de herramientas, alimentando la salida de una herramienta a otra, en un servidor. Puede utilizar esta capacidad para componer una cantidad infinita de modelos de geoprocesamiento (secuencias de herramientas) que ayudan a automatizar el trabajo y a solucionar problemas complejos. Puede compartir el trabajo realizado con otros sistemas al empaquetar su flujo de trabajo en un paquete de geoprocesamiento, que se puede compartir con facilidad. También puede crear servicios Web de los flujos de trabajo de geoprocesamiento (ArcGis, 2018).





### **2.7.1 Geoservicios del Open Geospatial Consortium OGC**

El Open Geospatial Consortium (OGC) es una Organización internacional sin fines de lucro, con 372 miembros comerciales, gubernamentales, académicos y otros, dedicado al desarrollo de estándares de servicios basados en localización y geoinformación. Estos estándares deben cumplir con las características de ser abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web.

La Infraestructura de Datos Espaciales de Santa Fe IDESF (2009), en su artículo Geoservicios de Open Geospatial Consortium presenta a los geoservicios como: “servicios adecuados a los estándares del OGC a través de sus especificaciones”. Las especificaciones del OGC garantizan la interoperabilidad de contenidos y servicios de la información geográfica. En ellas se definen vocabularios, sintaxis y comandos comunes para lograr la comunicación e interoperabilidad entre clientes y servidores de distintas plataformas, formatos, softwares y marcas comerciales.

Desde el punto de vista de las Infraestructuras de Datos espaciales (IDEs), al usuario no le interesa ya tanto descargarse los datos en su sistema, sino obtener directamente las respuestas que necesita y que un servicio le ofrece. Los servicios de las diferentes IDEs ofrecen funcionalidades accesibles a través de una red con un simple navegador o browser, sin necesidad de disponer de otro software específico para ello (IDESF,2009).

### **2.7.2 Servicios que brinda una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)**

Una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) es un sistema de información integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web, entre otros) dedicados a gestionar Información Geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos), disponibles en Internet. Cumple con una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, especificaciones, protocolos, interfaces), y que permiten que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades (Ministerio para la Transición Ecológica de España, 2018).

Según la IDESF (2009), a través de la Web se puede brindar varios servicios a un conjunto heterogéneo de usuarios. Parte de estos servicios son:

- Servidor de Mapas. Útiles para visualizar datos de forma general.

- Servidor de Objetos y de Coberturas. Para obtener datos y actualizar en forma remota.
- Servidor de Catálogo. Utilizado para buscar y localizar información geográfica.
- Servidor de Nomenclátor. Para localizar un fenómeno por nombre.
- Conversor de formatos, Transformación de Coordenadas, Combinación de Datos. Utilizado para geoprocesar datos.
- Style Layer Descriptor (SLD). Visualiza información geográfica con estilos propios.
- Filter Encoding (FE). Filtra la información que nos interese.

Con el pasar del tiempo y el auge de las diversas utilidades que un geoservicio proporciona, se han ido especializando tecnologías dirigidas a estos geoservicios. Con esto se ha logrado proveer de mejores resultados ante un problema específico. Gráficamente se puede observar en la ilustración 7, la arquitectura y el mecanismo de consumo de un geoservicio.

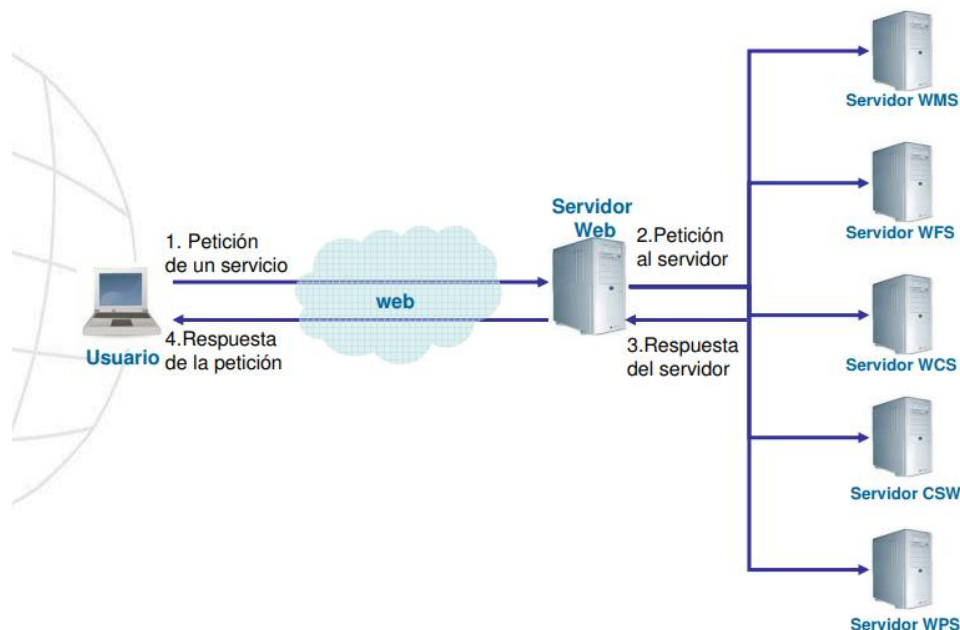


Ilustración 7. Arquitectura y tipos de Geoservicios. Fuente: IDESF-2009.

Es así como, existe una especificación OGC para cada geoservicio, que establece cómo debe ser el estándar y su interoperabilidad (IDESF,2009). Los parámetros dependen del geoservicio: la versión, el servicio, el tipo de petición, el sistema de referencia espacial, las coordenadas del área espacial de la petición, el tamaño de la imagen de respuesta, el formato de imagen, las capas, la transparencia, etc. Siendo una de las mayores ventajas que funcionamiento de un Geoservicio no conlleva mayor complejidad.



### 2.7.3 Web map service WMS

Web Map Service (WMS) es un geoservicio que se basa en la visualización de información geográfica georreferenciada en un formato de imagen (png, gif, jpeg). Permite el acceso a datos vectoriales y ráster, en distintos formatos, con diferentes sistemas de referencia y coordenadas, ofrecidos desde distintos servidores remotos, y superpuestos en un visualizador (IDESF, 2009).

Sus ventajas más significativas según IDESF (2009) son:

- Acceso inmediato y superposición de información geográfica procedente de varios servidores remotos.
- Acceso a datos actualizados.
- Usuarios pueden acceder a través de un Explorador de Internet.
- Ahorro de descargas e impresión en papel de información geográfica.

### 2.7.4 Web feature service WFS

Web Feature Service (WFS) es un geoservicio que permite acceder a datos vectoriales y consultar todos los atributos de un fenómeno (feature) geográfico. Permite operaciones de manipulación de datos, como son la consulta, inserción, actualización y eliminación de entidades geográficas a través de la red.

Habitualmente los datos proporcionados están en formato GML (Generalized Markup Language). El Lenguaje de Marcas Geográficas (GML) es una codificación convenida por el OGC para el transporte y almacenamiento de información geográfica, incluyendo la geometría, topología y propiedades de los objetos geográficos (IDESF, 2009).

Su mayor ventaja es que permite la descarga de datos originales tanto geométricos como alfanuméricos.

### 2.7.5 Web coverage service WCS

Web Coverage Service (WCS), es un geoservicio que se utiliza para la publicación de archivos en formatos ráster. Su característica principal es que permite al usuario final trabajar con los datos originales a nivel de píxeles. Define un estándar de interface y operaciones que permiten el acceso interoperable a “coberturas” geoespaciales. Según OGC, es el menos utilizado de los geoservicios desarrollados hasta el momento (OsGeo, 2017).



### 2.8.6 Catalog service web CSW

Catalog Service Web (CSW), es un geoservicio de catálogo que define una interfaz común para la recuperación, captura y consulta de metadatos referentes a datos, servicios y recursos geográficos. Este geoservicio web se especializa en facilitar la búsqueda de información geográfica.

El Servicio Web de Catálogos, admite el uso de lenguajes de consulta para encontrar y devolver resultados. Utilizando modelos de contenido conocidos como esquemas de metadatos (metadata schemas) y codificaciones (OsGeo, 2017).

### 2.8.7 Web processing service WPS

Web Processing Service (WPS), es un geoservicio que ofrece todas las funciones de Geoprocesamiento que actualmente es posible realizar con un software GIS de escritorio. “WPS proporciona unas reglas para la estandarización de la entrada y salida (peticiones y respuestas) para servicios de procesamiento geoespacial, como operaciones con polígonos y sus entradas y salidas” (OsGeo, 2017).

El estándar OGC para Web Processing Service (WPS) describe cómo acceder a procesos geoespaciales desde una interfaz Web. Los procesos abarcan cualquier algoritmo, cálculo o modelo que operen sobre datos ráster o vectoriales georeferenciados. Un WPS puede exponer cálculos tan simples como una sustracción entre dos conjuntos de números georeferenciados, restando uno de otro (determinar la diferencia en casos de gripe entre dos estaciones diferentes), o tan complicados como un modelo de cambio climático global. Define una interfaz que facilita la publicación de procesos geoespaciales y el descubrimiento y vinculación de esos procesos por parte de los clientes. Los datos requeridos por el WPS se pueden entregar a través de una red o pueden estar disponibles en el servidor (OpenGeospatial, 2018).

Según OsGeo (2017) los servicios WPS son unos de los geoservicios menos desarrollados, pero son particularmente útiles para:

- Reducir la complejidad de un conjunto de datos proporcionando algoritmos de aplicación directa (plug & play).
- Proporcionar encadenamiento de procesos en simultáneos.
- Proporcionar procesos que se despliegan una vez y pueden ser utilizados desde cualquier sitio.

- Mantenimiento simplificado. Los procesos/modelos se mantienen de forma centralizada por parte de quién los implementa.
- Las ventajas del procesamiento de alta velocidad a través de servidores centralizados.
- Acceso fácil e interoperable a procesos de alta complejidad, como por ejemplo modelos de cambio climático.

El servicio de procesamiento web como se puede observar en la ilustración 8, es una nueva forma estándar de proporcionar funciones GIS distribuidas a clientes en la red, en lugar de computadoras locales.

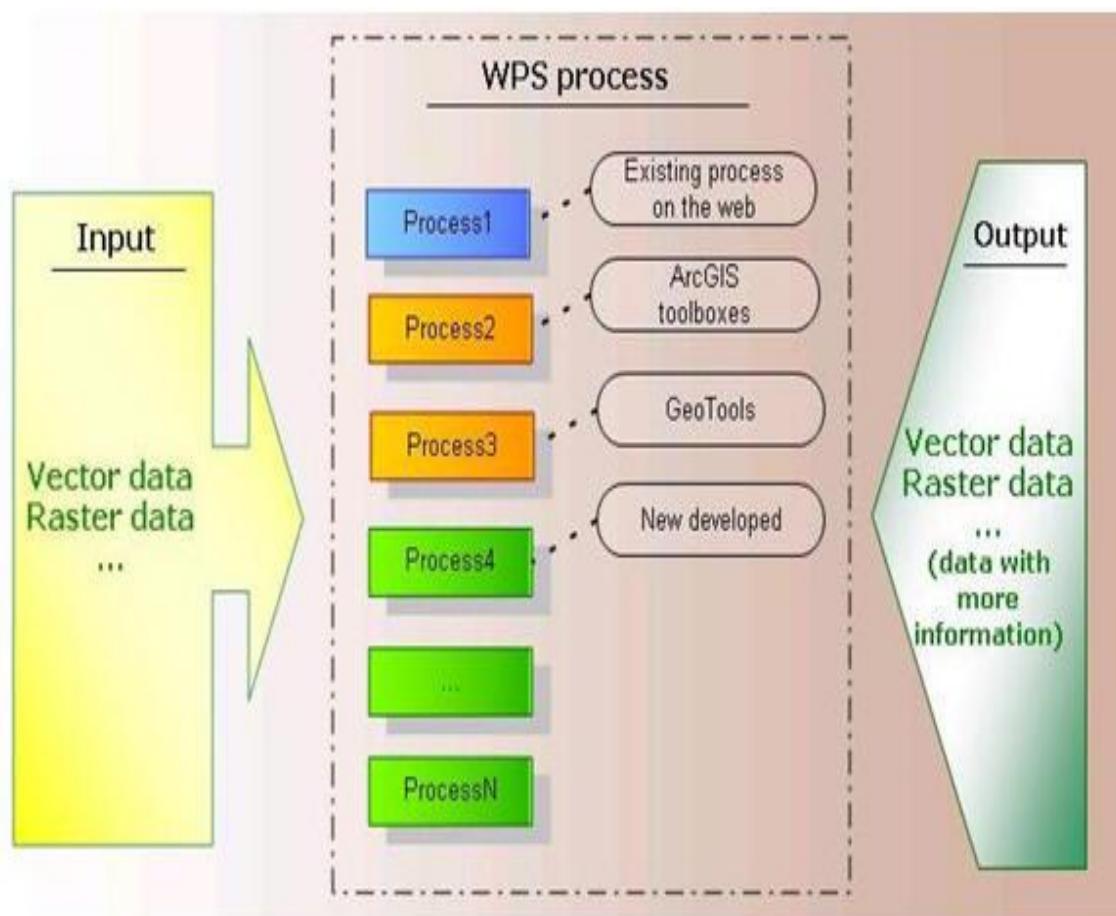


Ilustración 8. Arquitectura de WPS. Fuente: CISC 2011

La interfaz WPS estandariza la forma de procesar y describir sus entradas / salidas, cómo un cliente puede solicitar la ejecución de un proceso y cómo se maneja la salida de un proceso. Aquellos procesos con datos espacialmente referenciados pueden ser cualquier clase de datos según los procesos requeridos. Un servicio de WPS puede definir un conjunto de procesos, y los procesos específicos son definidos/programados por el propietario de esa



implementación de WPS. WPS tiene tres operaciones que son GetCapabilities, DescribeProcess y Execute (CISC.2011).

- **GetCapabilities.** La operación GetCapabilities solicita detalles de la oferta del servicio, incluidos metadatos del servicio y metadatos que describen los procesos disponibles. La respuesta es un documento XML llamado el documento de capacidades (GeoServer, 2017).
- **DescribeProcess.** La operación DescribeProcess solicita una descripción de un proceso de WPS disponible a través del servicio. El parámetro “identifier” identifica el proceso y lo describe. Se pueden solicitar múltiples procesos, cuando se los digita separados por comas (por ejemplo, identifier=JTS:buffer,gs:Clip). Se debe especificar al menos un proceso en el servicio al igual que la entrada/salida de este (GeoServer, 2017).
- **Execute.** La operación “Execute” es una solicitud para realizar el proceso con los valores de entrada especificados y los elementos de datos de salida requeridos. La solicitud puede realizarse como una URL GET o POST con un documento de solicitud XML. Debido a que la solicitud tiene una estructura compleja, el formulario POST se usa típicamente (GeoServer, 2017).

“WPS puede ser desarrollado de manera simple por alguna plataforma, como el Servicio de Procesamiento Web de 52 North. Este servicio permite la implementación de procesos en una arquitectura conectable que une a GeoTools, GRASS, QGIS, OpenLayer o ArcGIS, etc” (CISC, 2011). Por tal motivo, WPS aporta con una amplia gama de procesos geoespaciales que permiten el tratamiento de datos geográficos mediante la utilización de recursos remotos y conexión a la web. Dentro de esta gama se estima la utilización del método de interpolación Ordinary Kriging mediante la creación de un WPS conectado a QGIS.

### 3. Desarrollo de la Propuesta

El objetivo principal del proyecto es realizar un sistema web que almacene datos hidrometeorológicos (Temperatura y Precipitación) de instituciones que cuenten con estaciones automáticas y poder realizar con estos datos un proceso de interpolación utilizando Ordinary Kriging mediante Web Processing Service (WPS) para la obtención de una imagen ráster. De esta manera, la presente propuesta tecnológica abarca tres partes importantes que son:

- **Gestión de los datos hidrometeorológicos:** Esta sección es la base del proyecto, la razón de esto es que un proceso de interpolación debe





su aproximación al número de puntos con los que se cuenta. Es decir, que la gestión para la obtención de la mayor cantidad de datos es parte fundamental del proyecto.

- **El sistema web:** Es aquel que estará de cara al usuario. Este sistema interactuará con las opciones de reportes de datos históricos y la ejecución de la interpolación.
- **Geoservicio WPS:** La intercomunicación existente entre el sistema web y el servidor WPS, es la que brinda la posibilidad de ejecutar la interpolación. Por lo que el servicio WPS debe estar a la escucha de la solicitud de interpolación.

Con la implementación de estas tres partes, se llega a cumplir con el objetivo propuesto en el proyecto. Este sistema web, estará disponible por medio de internet, para el uso y descarga de su información y servicios a los usuarios en general.

### 3.1 Gestión de datos de estaciones hidrometeorológicas automáticas

Diversas instituciones públicas y privadas en el Ecuador como CELEC EP o la Universidad Politécnica Salesiana UPS, han visto conveniente la adquisición de estaciones hidrometeorológicas automáticas para el procesamiento de sus datos ya sea en investigación, academia o proyectos propios. Por tal motivo, las estaciones adquiridas se han acoplado a las especificaciones de sus adquisidores, provocando la heterogeneidad de estas. Las estaciones varían entre los diversos modelos de estaciones de las marcas Campbell y Vaisala.

Los datos censados de cada una de las estaciones se almacenan en un datalogger, que puede configurarse dependiendo de los requerimientos a cumplir. “El datalogger provee de información adicional como Latitud y longitud de la estación, la hora y fecha en la que se capturó la información, la unidad de medida en la que se toman los datos y sus valores” (Campbell, 2018). El observador puede configurar el orden en el que se van a recibir los datos.

La Universidad de Cuenca en su Centro de Estudios Ambientales (CEA) cuenta con estaciones automáticas de marca Campbell. Esta marca proporciona un datalogger de modelo CR300 multipropósito, compacto y de bajo costo. Este datalogger de nivel básico, pero potente en su conjunto de instrucciones, puede medir la mayoría de los sensores utilizados en hidrología, meteorología, medio ambiente e industria. Concentra los datos, y los pone a disposición a través de variedad de redes y protocolos. El CR300 también realiza la toma de decisiones automática en el lugar o remotamente para control y comunicaciones M2M (machine to machine). El CR300 es ideal para pequeñas aplicaciones que requieran monitorización y control a largo plazo (Campbell, 2018). Véase en la ilustración 9.





Ilustración 9. Datalogger Campbell CR300. Fuente: Campbell-2017

El datalogger CR300 dispone opcionalmente de comunicaciones WiFi, telefonía móvil, o radio para las siguientes áreas geográficas:

- CR300-RF407: US y Canada
- CR300-RF412: Australia y New Zealand
- CR300-RF422: Europa

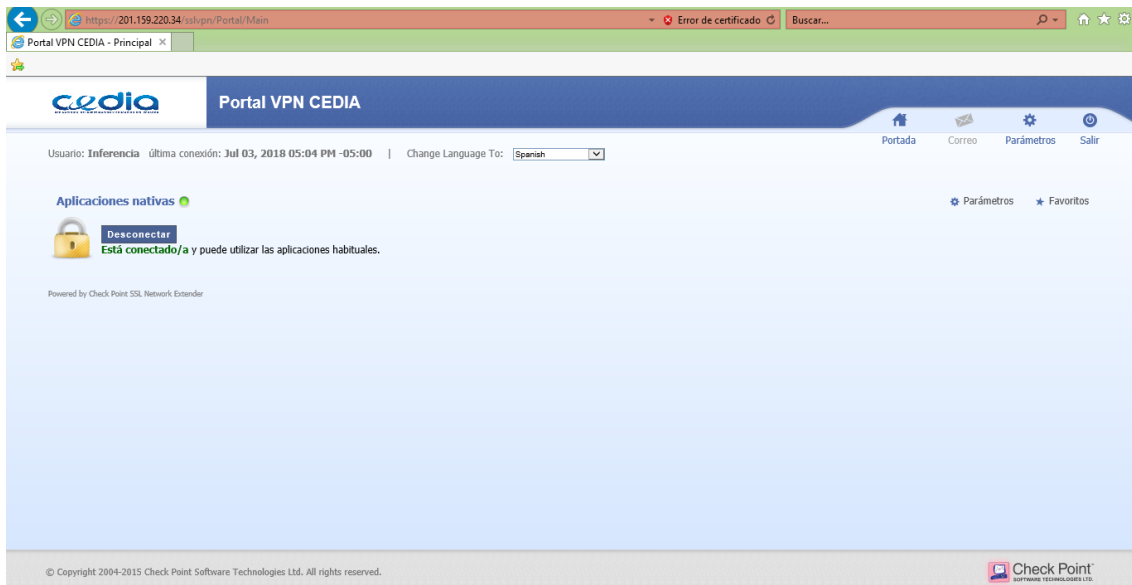
El datalogger CR300, permite la configuración de la periodicidad con la que se van a censar los datos de los sensores y establecer el horario de la emisión de los datos hacia el servidor. Para el presente proyecto se configuró al datalogger para tomar los datos de los sensores cada 5 minutos, cada hora y cada 24 horas. Los datos se guardan en un archivo de tipo .dat que cada hora es enviado hacia el datalogger.

El datalogger CR300 permite la utilización de la tecnología GPRS (General Packet Radio Service), por lo que se contrató un plan de datos provisto por una operadora celular para la emisión de los datos hacia el servidor. Para esto se debe introducir el chip de la operadora en la ranura del datalogger, se ingresa la dirección IP a la que se desea enviar el mensaje con el archivo .dat y el servidor se encarga de almacenar estos datos.

Para el almacenamiento de los datos emitidos por las estaciones automáticas, se solicitó un servidor a CEDIA (Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia). Se proporcionó una IP pública que se vincula a este servidor, que es el que alberga los datos hidrometeorológicos. El acceso a los datos se da mediante un servidor virtual mediante el portal SSL (Secure Sockets Layer) de CEDIA.



## Universidad de Cuenca



*Ilustración 10. Conexión de acceso a VPN CEDIA habilitada.*

En la ilustración 10, se puede notar la conexión establecida con el servidor virtual que almacena los datos de las estaciones. Para acceder al servidor virtual es necesario utilizar la herramienta de Conexión a Escritorio Remoto. Su método de acceso es la dirección IP, y debido a su naturaleza restringida se deben ingresar las credenciales privadas proporcionadas por CEDIA. Esta acción vincula al servidor virtual en donde se almacenan los datos de las estaciones hidrometeorológicas automáticas.

Como se mencionó anteriormente, se utiliza un datalogger CR300 en las estaciones automáticas. El datalogger CR300 es el encargado de censar los datos que las estaciones obtienen con la periodicidad configurada, almacenarlos de manera temporal y enviarlos hacia un servidor (Campbell, 2018). El servidor que recibe los datos de las estaciones hidrometeorológicas debe contar con algunas características especiales como son: tener una IP pública, estar conectado a internet permanentemente o en las horas de emisión de datos y tener instalado el software proporcionado por Campbell denominado LoggerNet Admin.

LoggerNet se define según Campbell (2018), como: “un paquete de software de soporte de registro de datos principal. Es compatible con la programación, comunicación y recuperación de datos entre registradores de datos y una PC” La última versión de LoggerNet Admin es la 4.5, con la que se puede trabajar en el servidor Virtual con su interfaz gráfica, de modo que se puede monitorizar el funcionamiento de las estaciones y la periodicidad de recepción de datos, véase en la ilustración 11.

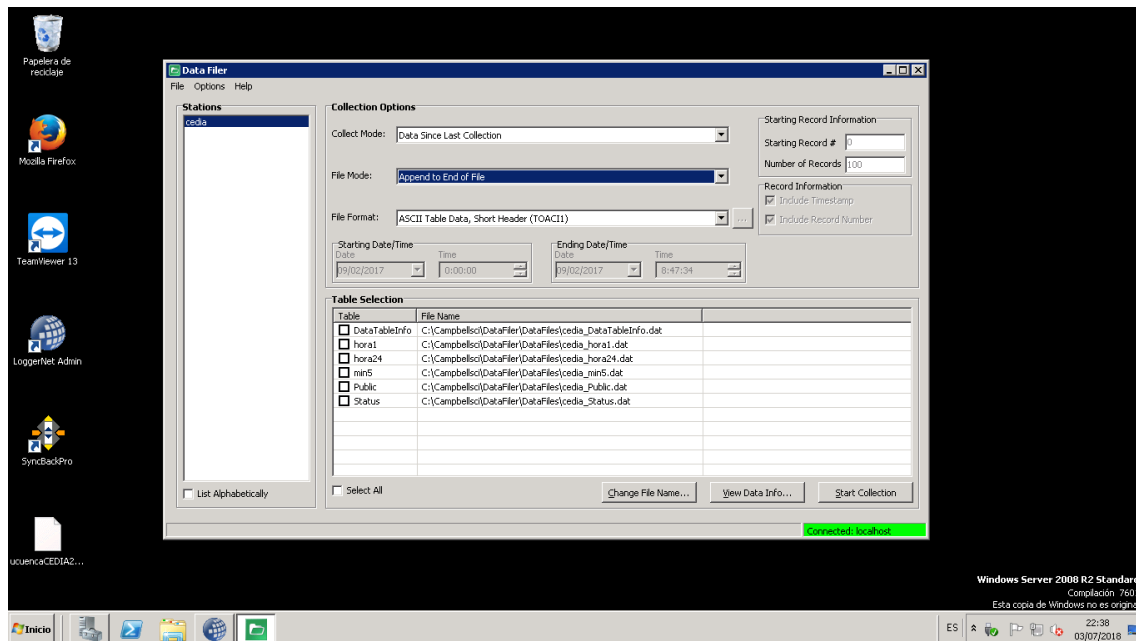


Ilustración 11. Registro de datos obtenidos por estaciones automáticas.

LoggerNet consiste en una aplicación de servidor y varias aplicaciones de cliente integradas en un solo producto. Puede admitir la conexión a un único registrador de datos, pero es especialmente adecuado para aplicaciones que requieren telecomunicaciones o recuperación de datos programados utilizados en redes grandes de registradores de datos (Campbell, 2018).

El software proporcionado por Campbell a más de recibir los datos emitidos por las estaciones automáticas almacena estos datos y permite su consulta. Los archivos se almacenan de acuerdo con la configuración establecida en un formato .dat, como se muestra en la ilustración 11. De esta manera se puede acceder a los datos censados cada día (hora24), cada hora (hora1), cada 5 minutos (min5) mediante su respectivo archivo.

### 3.2 Prueba de Interpolación

La herramienta de QGIS pertenece al grupo de software libre, por lo que provee gratuitamente sus servicios distribuyendo sin costo su instalador o dando la opción de descarga mediante su repositorio. Presenta soporte para los Sistemas operativos de Windows, Linux y Mac. El método de instalación y configuración de la herramienta se puede encontrar en su página oficial [qgis.org](http://qgis.org).



Una vez instalado QGIS, se procede a la ejecución de la interpolación utilizando Ordinary Kriging. Los archivos necesarios para realizar la interpolación son dos:

- **Shapefile de contorno:** Este es un archivo en el que se muestra la superficie en el que se va a trabajar.
- **Shapefile de puntos:** Este archivo es la capa de puntos en los que se ha realizado el muestreo. Es decir, es aquí en donde se carga la información obtenida desde las estaciones hidrometeorológicas.

Debido a que se realiza una prueba de la funcionalidad del software elegido, se usarán datos ficticios. La interfaz gráfica de QGIS muestra la sobreposición de los datos censados sobre la superficie de las provincias de Azuay y Chimborazo, como se puede observar en la ilustración 12.

QGIS proporciona una gran variedad de funcionalidades por lo que en su instalación inicial provee sus características básicas, permitiendo al usuario agregar varios componentes especializados adicionales. En la pestaña “Complemento” se puede administrar los complementos que se desean agregar a QGIS. Se debe agregar el complemento “Processing” que es el encargado de acceder a métodos indispensables para realizar la interpolación (QGIS, 2017).

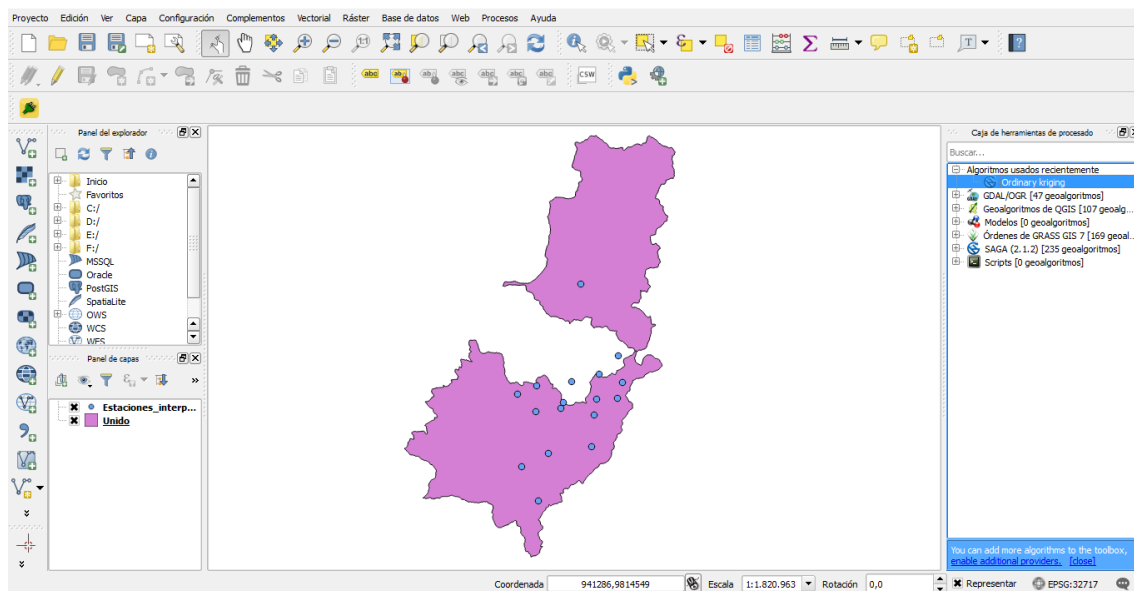


Ilustración 12. Ingreso de Shapes en QGIS.

De esta manera podemos acceder a la interfaz que nos permite parametrizar el método de interpolación. Estos parámetros permiten configurar detalles como el rango, modelo de variograma, cuadrícula destino, entre otras. Como se puede visualizar en la ilustración 13.

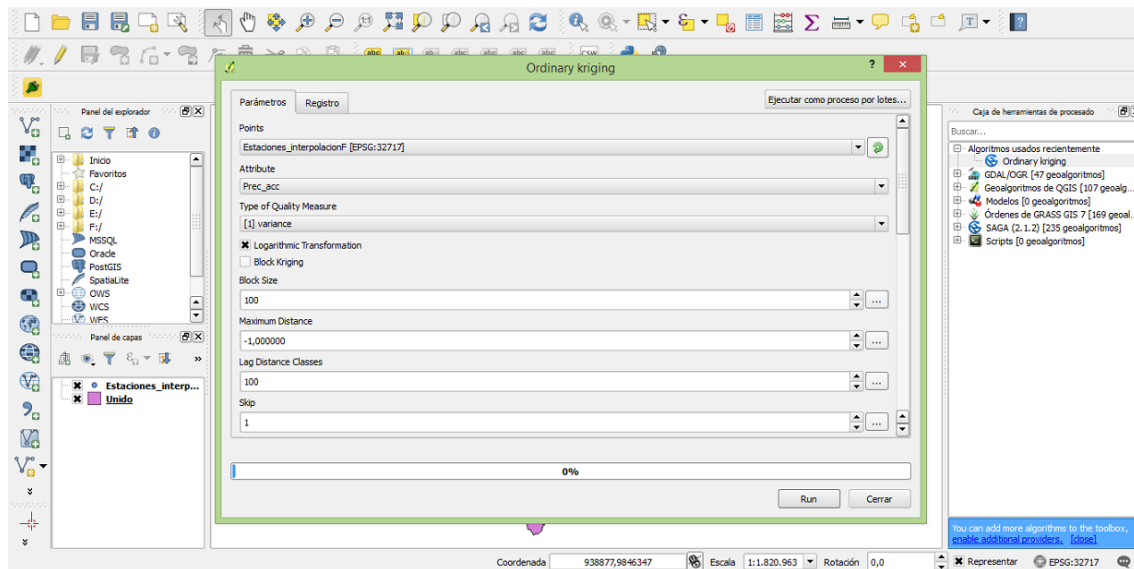


Ilustración 13. Parametrización de variables de Ordinary Kriging.

Al momento en el que se ha verificado la correcta parametrización de las variables solicitadas, QGIS inicia el proceso de interpolación. En el caso de que exista incompatibilidad o algún error, se muestra un log en donde se puede verificar el error. Una vez terminada la interpolación se generan dos archivos de tipo .tif denominados Grid y Variance. El ráster que contiene la información de la distribución de la variable hidrometeorológica en cuestión, es aquel que asume el nombre de Variance. El ráster obtenido tiene una forma rectangular del tamaño del shapefile de contorno, por lo que es necesario darle la forma de las provincias de Azuay y Chimborazo. La forma de cortar un archivo ráster es utilizando el componente Clipper, que solicita como entrada el ráster a cortar y un shapefile con la forma que se le quiere dar al ráster final. (QGIS, 2017). El resultado del proceso se muestra en la ilustración 14.



## Universidad de Cuenca

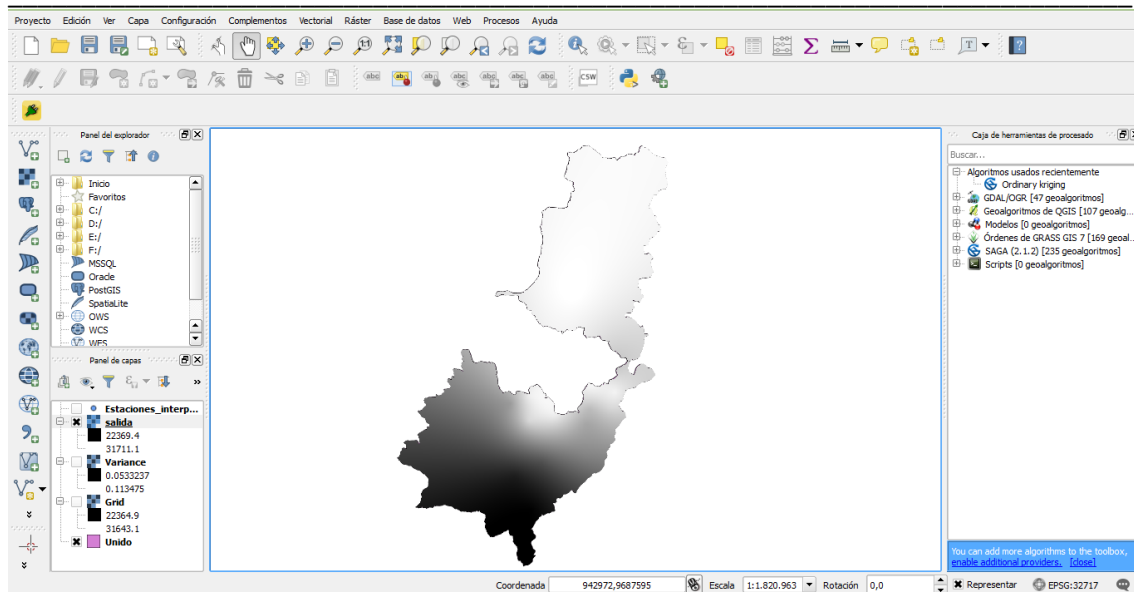


Ilustración 14. Ráster resultante del proceso de interpolación Ordinary Kriging.

El complemento Processing en Qgis no solo permite la utilización de Ordinary Kriging, sino que brinda la posibilidad de automatizar tareas mediante PyQgis. PyQGIS es la librería de QGIS que permite ejecutar código Python. QGIS en su página oficial menciona que elige Python por ser uno de los lenguajes favoritos para scripting y de fácil aprendizaje (QGIS, 2017).

Con PyQgis se pueden automatizar tareas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Listar el número de registros de las capas, realizar geoprocetamiento, añadir y borrar elementos de una capa o tabla, crear geometrías nuevas o exportar un mapa a PDF y hasta crear complementos de QGIS (plugins) utilizando Python como lenguaje de programación. La principal ventaja de utilizar Python es la simplicidad en la distribución y un desarrollo sencillo en la ejecución de aplicaciones personalizadas. “Con PyQGIS podemos crear aplicaciones interactivas con funcionalidades SIG. El módulo qgis.gui trae diversos componentes visuales GUI (graphical user interface)” (QGIS, 2017).

Considerando las bondades de PyQgis, es factible la creación de un script que realice la interpolación utilizando Ordinary Kriging. Los detalles para la realización de un script se explican en cada uno de sus componentes debido a que llaman a diferentes algoritmos con distintos parámetros. Se puede ver en la ilustración 15, como se ha generado el ráster final, mediante la ejecución del script creado con PyQgis.





## Universidad de Cuenca

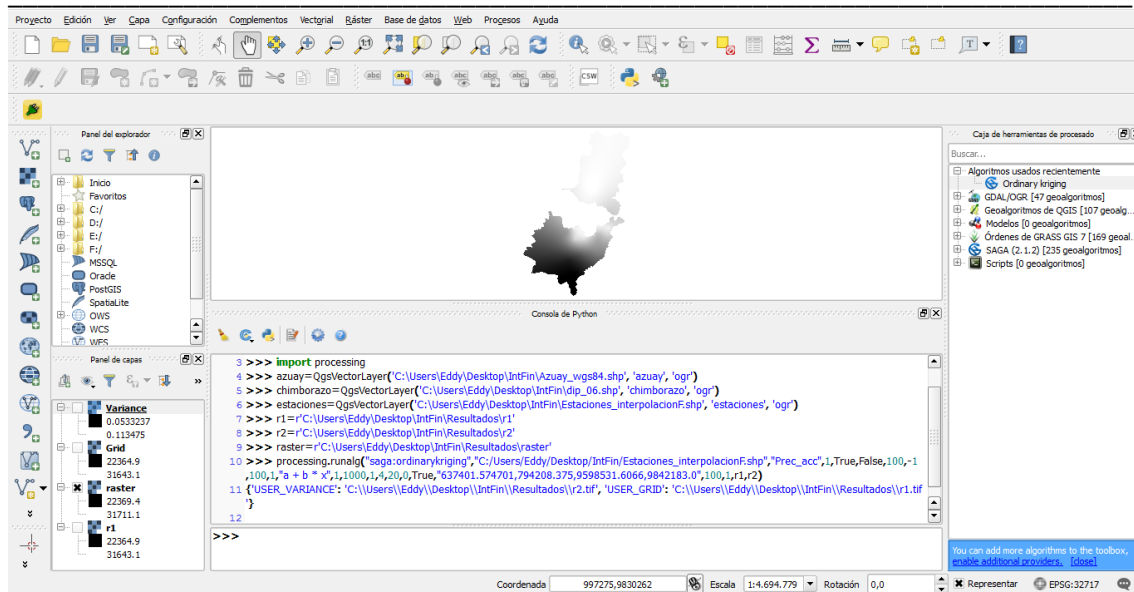


Ilustración 15. Interpolación con Ordinary Kriging mediante un script de PyQGIS.

El script que se utiliza es de fácil entendimiento debido a la simplicidad del lenguaje Python. A continuación, se especifica la funcionalidad de cada línea del script:

- **import processing:** Realiza la importación del módulo processing, encargado de ejecutar el método de interpolación.
- **azuay=QgsVectorLayer('/home/edisson/Escritorio/IntFin/Azuay\_wgs 84.shp', 'azuay', 'ogr'):** Importa el shapefile de la provincia del Azuay. Este archivo presenta el contorno político de la provincia del Azuay con sus límites.
- **chimborazo=QgsVectorLayer('/home/edisson/Escritorio/IntFin/dip\_06.shp', 'chimborazo', 'ogr'):** Importa el shapefile de la provincia de Chimborazo. Este archivo presenta el contorno político de la provincia de Chimborazo con sus límites.
- **estaciones=QgsVectorLayer('/home/edisson/Escritorio/IntFin/Estaciones\_interpolacionF.shp', 'estaciones', 'ogr'):** Importa el shapefile que alberga los datos de las mediciones en los distintos puntos de muestreo. Este shapefile además de proporcionar los datos de las variables hidrometeorológicas, agrega información geoespacial de las estaciones.
- **r1=r'/home/edisson/Escritorio/Resultados/r1':** Genera una ruta en donde se guardará el primer archivo ráster resultante del proceso. Este





archivo se utilizará como el penúltimo parámetro en la sentencia de ejecución de la interpolación.

- **r2=r'/home/edisson/Escritorio/Resultados/r2'**: Genera una ruta en donde se guardará el segundo archivo ráster resultante del proceso. Este archivo se utilizará como el último parámetro en la sentencia de ejecución de la interpolación.
- **raster=r'/home/edisson/Escritorio/Resultados/raster'**: Genera una ruta en donde se guardará el archivo ráster final. Este archivo se obtiene después de la aplicación del Clipper al ráster obtenido de la interpolación. Esta ruta se utilizará en la última sentencia del script.
- **processing.runalg("saga:ordinarykriging",estaciones,"Prec\_acc",1, True,False,102,-1,100,1,"a + b \* x","637401.574701,786633.1826 99,9598531.6066,9723945.0186",100,1,1,1000,0,4,20,0,r1,r2)**: Ejecuta mediante la sentencia processing.runalg un algoritmo que se identifica en el primer parámetro de la sentencia. Se adiciona una colección de parámetros que establecen los términos con los que se va a realizar la interpolación. Estos parámetros son aquellos que se ingresan en la interfaz gráfica del método de interpolación mostrada en la ilustración 13.
- **processing.runalg("saga:clipgridwithpolygon","/home/edisson/Escritorio/Resultados/r1.tif",azuay,3,raster)**: Se ejecuta el proceso de cortado del ráster obtenido del proceso de interpolación. Se da como referencia la ubicación del archivo y el shapefile que se utiliza como contorno para cortarlo. Además, se añade como último parámetro la ruta creada para el almacenamiento del ráster final.

Este conjunto de sentencias procesa los archivos ingresados y nos proporciona un ráster final que provee información del estado de la variable estudiada en cada píxel. Además de una noción visual de la distribución de la variable en toda la extensión del ráster.

### 3.3 Arquitectura del sistema

La implementación de un sistema web comprende varias partes, por lo que una buena práctica para la creación de una arquitectura es la abstracción de cada uno de sus componentes. Como se puede observar en la ilustración 16, el sistema se divide en 9 partes que dan una visión holística del proyecto establecido.

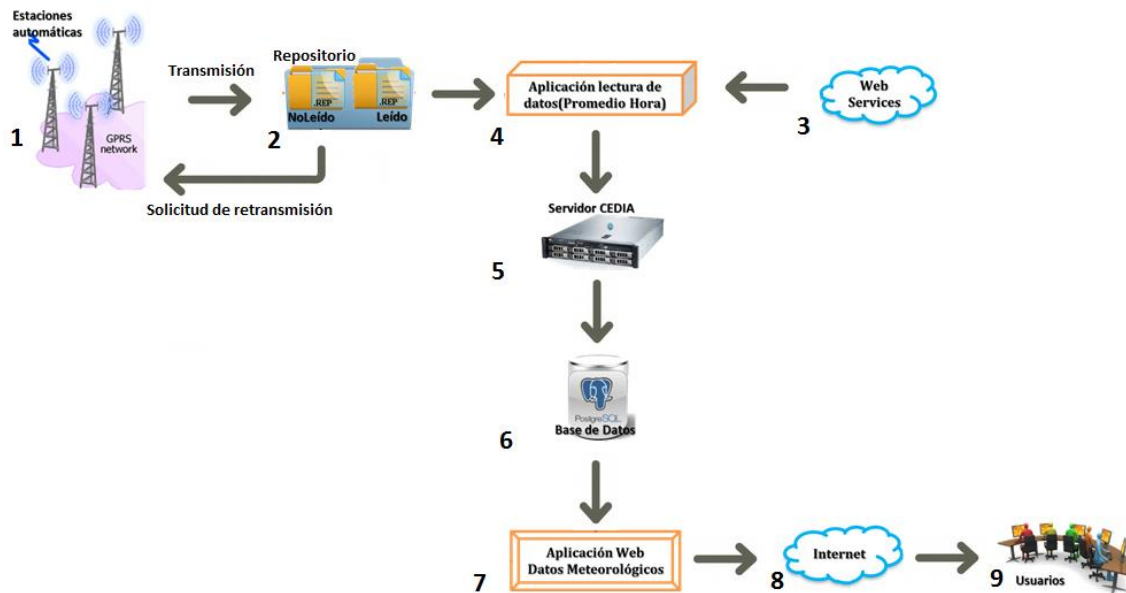


Ilustración 16. Arquitectura del Sistema.

### 3.3.1 Estaciones Automáticas

Las estaciones automáticas que pertenecen a la Universidad de Cuenca, recogen datos (promedios) de sus sensores cada 5 minutos, cada hora y cada 24 horas. La emisión de estos datos se lo realiza cada hora mediante tecnología GPRS (General Packet Radio Service) desde un datalogger. El datalogger envía los archivos correspondientes en formato .dat a la dirección IP proporcionada. El Datalogger genera una cola de archivos, elimina el último archivo cada vez que recibe el ACK (acknowledgement) de confirmación de los archivos enviados recientemente (Campbell, 2018).

### 3.3.2 Repositorio

Se refiere al espacio de almacenamiento que provee el servidor virtual proporcionado por CEDIA para el ingreso de los datos enviados por las estaciones automáticas. En este servidor se instaló LoggerNet Admin 4.5, que permite la recepción y almacenamiento de los datos hidrometeorológicos (Campbell, 2018). Cada hora se permite el registro de los archivos .dat. En el caso de que no lleguen en un máximo de 10 minutos, LoggerNet Admin cierra el método de registro de los archivos. Los archivos que lleguen con retraso se



almacenan en un fichero de espera. Por lo tanto, este repositorio se divide en dos partes: leído y no leídos.

- **Leído.** Fichero que contiene los archivos recibidos desde las estaciones automáticas y que fueron registradas como ingresadas correctamente. Cuando esto sucede, LoggerNet Admin emite el ACK pertinente a la estación emisora.
- **No leído.** Fichero que almacena los archivos que llegaron con retraso. Estos ficheros se ubican en una cola de registro. Si el archivo ingresa correctamente, se emite el ACK correspondiente a la estación emisora. En el caso de que el archivo no cumpla los parámetros especificados, no se permitirá su registro, se ubicará la incidencia en el log de LoggerNet Admin y se enviará un ACK de retransmisión del archivo a la estación emisora (Campbell, 2018).

### 3.3.3 Web Services

Una interpolación genera datos cercanos a la realidad, en lugares donde no se cuenta con una estación hidrometeorológica. Por lo tanto, entre mayor sea la cantidad de estaciones, se podrán generar datos más exactos. Por esta razón, el proyecto busca la integración de instituciones que manejen este tipo de datos.

Los Web Services hacen referencia a la interfaz de comunicación entre el sistema y los datos hidrometeorológicos que instituciones externas proporcionan. Una de las Instituciones que proveen sus datos es la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) que cuenta con 16 estaciones automáticas como se muestra en la ilustración 17. El convenio que se acordó con la UPS es:

- Se generarán credenciales confidenciales de acceso al Web Service.
- El acceso al Web Service se realizará mediante la URL: <http://redenti.ups.edu.ec:8086/iner/rest/ucuenca/parametro1/parametro2/parametro3/parametro4/parametro5>.
- Los parámetros corresponden a: parametro1 a fecha de inicio, parametro2 a fecha de fin, parametro3 a código de estación (Ver en Ilustración 17), parametro4 a usuario, parametro5 a contraseña.



## Universidad de Cuenca

ID	Estación	Código	Coord X	Coord Y	Alt Z
1	Baños	BAN	712899,00	9672817,00	3062
2	Chaucha	CHU	672859,00	9678690,00	1896
3	Yanuncay CTS	CTS	720504,00	9677509,00	2561
4	Cumbe	CUM	719190,00	9656242,00	3179
5	Irquis	IRQ	713645,00	9659192,00	2665
6	Llacao	LLA	730418,00	9685180,00	2542
7	Molleturo	MOL	676435,00	9692152,00	3524
8	Nulti	NUL	729704,00	9682466,00	2623
9	Quíngeo	QUI	729055,00	9664593,00	2895
10	Sayaquí	SAY	715974,00	9681200,00	2727
11	Sinincay	SIN	722340,00	9685283,00	2696
12	San Joaquín	SJQ	714405,00	9680807,00	2764
13	Santa Ana	SAN	730085,00	9672006,00	2651
14	Tixán-Chiquintad	TXC	723017,00	9686678,00	2725
15	Turi	TUR	721103,00	9674971,00	2768
16	El Vecino	EVC	723584,00	9680788,00	2556

Ilustración 17. Código de Estaciones de UPS.

- El formato de las fechas, corresponderán a yyyy-mm-dd, por ejemplo: 2017-03-28.
- El servicio WEB será desarrollado utilizando el protocolo de transferencia REST. El formato XML que se genera con este servicio se puede consultar en la ilustración 18.

```
<ineLecturas>
  <ineLectura>
    <ineLecturaPK>
      <estCodigo>1</estCodigo>
      <time>2013-12-16T16:00:00-05:00</time>
    </ineLecturaPK>
    <taavg1h>0.00000</taavg1h>
    <prsum1h>0.00000</prsum1h>
  </ineLectura>
  <ineLectura>
    <ineLecturaPK>
      <estCodigo>1</estCodigo>
      <time>2013-12-16T17:00:00-05:00</time>
    </ineLecturaPK>
    <taavg1h>14.50000</taavg1h>
    <prsum1h>0.30000</prsum1h>
  </ineLectura>
</ineLecturas>
```

Ilustración 18. Formato XML Web Service UPS.



---

### **3.3.4 Aplicación lectura de datos (Promedio Hora)**

La emisión de datos depende de las capacidades y recursos de las estaciones automáticas. Por lo tanto, al no poder generar una configuración estándar en todas las estaciones, se establece la recepción del promedio de las variables cada hora. De esta manera, se podrá interpolar los datos promedio de todas las estaciones cada hora.

La aplicación de lectura de datos se ejecutará cada hora. Tomará los datos leídos de la última hora del repositorio y se ejecutarán los web services que provean información de instituciones colaboradoras. Estos datos se ingresarán en la base de datos del sistema.

### **3.3.5 Servidor CEDIA**

Adicionalmente de abastecer con el espacio de almacenamiento necesario para guardar los datos generados por las estaciones, el servidor CEDIA provee de una IP pública necesaria para el envío de los datos desde el Datalogger. En el servidor se pone en funcionamiento el sistema web creado, y se instalan y configuran todas las herramientas informáticas necesarias para que el sistema vaya a producción, esto se describe en los anexos del documento.

### **3.3.6 Base de Datos**

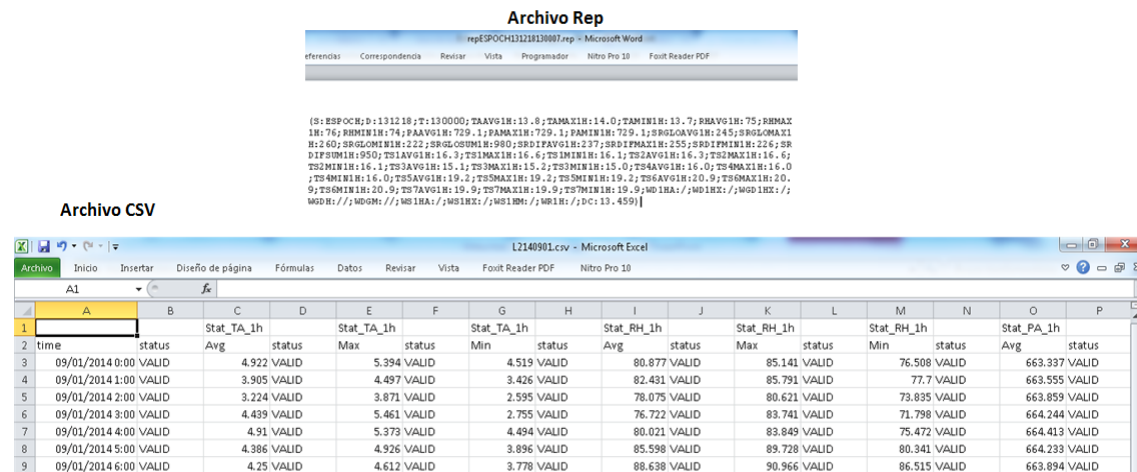
Los datos que se almacenarán en la base de datos del sistema no son en su totalidad comunes. Se necesita una base de datos que permita el almacenamiento de archivos vectoriales, rásters y geodatos. Uno de los motores de bases de datos especializados es PostGIS, que es una extensión de PostgreSQL. Sobre PostgreSQL y PostGIS se implementará los diagramas entidad-relación creados y consultados desde otros servidores y se ingresarán las entidades vectoriales necesarias. De esta manera, el sistema podrá consultar directamente los datos históricos y los recibidos de las estaciones recientemente.

Varios son los datos que se generan al recopilar la información necesaria para generar un proceso de interpolación. Por lo que, tomando en cuenta el primer argumento de Bravo & Montenegro (2011) “es necesario crear un modelo de base de datos relacional estándar que se vincule con geodatos”.

La información que se debe tomar en cuenta para la creación del modelo entidad relación de la base de datos a utilizar es:

Universidad de Cuenca

Al trabajar con varias instituciones que proveen datos de temperatura y precipitación, se debe considerar el formato en el que se obtienen los datos. El formato de los archivos de datos depende de la marca de la estación, configuración realizada y el datalogger utilizado. En la figura 19, se muestra la diferencia entre los archivos rep y csv recibidos por estaciones diferentes. Los nombres de las variables deben ser estandarizados.



*Ilustración 19. Archivos obtenidos de estaciones automáticas.*

Las estaciones hidrometeorológicas contienen varios sensores que difieren entre marcas y modelos ya sea en sensibilidad, rango de error, mantenimiento, entre otros detalles. Como se muestra en la ilustración 20, se debe tener un inventario en el que se pueda consultar estos detalles de cada estación incluyendo su ubicación.

1.-Estación Meteorológica en San Juan		INVENTARIO		
INFORMACIÓN GENERAL		SENSOR	MODELO	MARCA
<i>Nombre de la Estación</i>	Estación Meteorológica en San Juan	<i>Data Logger</i>	QML 201C	<i>Vaisala</i>
<i>Provincia</i>	Chimborazo	<i>Modem GPRS</i>	FXT009	Sierra Wireless
<i>Cantón</i>	Riobamba	<i>Anillo de Sombra</i>		
<i>Parroquia</i>	San Juan	<i>2 Piranómetros</i>	SR11-10	<i>Hukseflux</i>
<i>Comunidad</i>	Sector: Colegio San Juan	<i>Sensor de perfil de temperatura 7 profundidades</i>	QMT107	<i>Vaisala</i>
<i>Latitud</i>	9818849	<i>Sensor de Temperatura y humedad</i>	HMP155	<i>Vaisala</i>
<i>Longitud</i>	746596	<i>Sensor barométrico</i>	<i>Vaisala</i> BAROCAP BARO-1	<i>Vaisala</i>
<i>Altura del terreno</i>	3232 msnm	<i>Velocidad y Dirección de Viento</i>	<i>Ultrasonic Anemometer</i> 85000	Young
		<i>Batería</i> <i>12 Volt. 35.0 Amp. Hr.</i>	PS-12350 NB	POWER PS SONIC.
		<i>Modulo Fotoaltaico 25P</i>	<i>Policristalino</i> 25W/22V 1.54A	
		<i>Canales Disponibles</i>	-Serial Line COM 1 -Serial Port 2 (COM 3) -Communication Module 2 -Module QMI118 - CH1 - CH3 - CHA - CHB	Los canales libres NO tienen cableado interno
		<i>Caja Nema</i>	15L0202A00	ABB IP66

*Ilustración 20. Detalles y ubicación de una estación automática.*



Con el objetivo de hacer que los datos sean más legibles y de fácil tratamiento en conjunto se deberá considerar una unidad de medida estándar para cada variable, abreviaturas y un registro de observaciones.

Considerando que una estación es aquella que alberga la información tanto de los datos captados por sus sensores como de los detalles de su instalación, se realizó el proceso de normalización. Fruto de esto se obtuvieron 4 esquemas que permiten la gestión y almacenamiento de los datos y son:

- **Esquema de administración:** Es el que bosqueja como se ha implementado la base de datos y como se guardan los valores recibidos desde los sensores, además de los datos de las estaciones y sus ubicaciones. Véase en anexo 1.
- **Esquema de base de datos:** Este esquema muestra cómo se han registrado los datos crudos en la base de manera mensual. Esto se realiza con el objetivo de que técnicos en el área de limpieza de datos puedan acceder a ellos obteniendo registros mensuales. Véase en anexo 2.
- **Esquema de datos del datalogger:** Muestran la constitución de las tablas generadas, tanto de datos crudos como de datos tratados en el Datalogger. Véase en anexo 3.
- **Esquema de datos del servidor:** Muestra cómo se constituyen las tablas de los datos crudos como tratados en el servidor. Véase en anexo 4.

Cabe recalcar que para los fines del proyecto se toman en cuenta únicamente los datos ingresados en el servidor como tratados. Por lo que, aunque los esquemas generados e implementados contienen datos crudos, estos son obviados en las consultas y reportes que se entregan al usuario. La ejecución de la limpieza de datos no compete al presente proyecto.

### 3.3.7 Aplicación Web Datos Meteorológicos

El sistema web creado gestiona tanto los datos hidrometeorológicos emitidos por las estaciones automáticas y a las estaciones como tales. El sistema presenta reportes de las estaciones registradas y sus datos geográficos como se puede observar en la ilustración 21. Los reportes pueden incluir a los





## Universidad de Cuenca

sensores de cada estación, unidades de medida, variables, abreviaturas y los detalles de cada una.

### LISTADO DE ESTACIONES

DATOS DE ESTACIÓN					
	Nombre	Institución a Cargo	Ubicación	Latitud	Longitud
1	Atillo	ESPOCH	Sector de paramo	9758048.0	772610.0
2	Matus	ESPOCH	Sector de Matus	9827892.0	777564.0
3	Juval	UNACH	Sector Ozogoché	9734269.0	756205.0
4	CEA-Campus	UCUENCA	Campus Central	9679201.7	721314.1
5	Ozogoché	UNACH	Sector Ozogoché	9750526.0	767976.0
6	Urbina	ESPOCH	Sector: Estación del tren en Urbina	9835326.0	754533.0
7	Quingeo	Universidad Politécnica Salesiana		0.0	0.0
8	Nulti	Universidad Politécnica Salesiana		0.0	0.0
9	Tunshi	ESPOCH	Hacienda de la ESPOCH	9806678.0	764087.0
10	Molleturo	Universidad Politécnica Salesiana		0.0	0.0
11	Cumandá	ESPOCH	Sector: Colegio Técnico Agropecuario Cumandá	9755579.92	706262.4
12	Pishilli	ESPOCH	Sector: a 13 kilómetros de Tixán	9761332.0	749103.0
13	Alao	ESPOCH	Alao EERSA	9793173.0	773499.0

Ilustración 21. Listado de estaciones automáticas.

En el caso de las variables recibidas desde las estaciones automáticas se permite la consulta de los datos ingresados ya sea por provincia, estación, variable y periodo de tiempo, como se puede observar en la ilustración 22. Estos datos pueden ser descargados como una hoja de cálculo de Excel o en formato pdf.



## Universidad de Cuenca

Ilustración 22. Reporte de datos hidrometeorológicos.

Adicionalmente el sistema web presenta un visor en el que se muestran las provincias de Azuay y Chimborazo además de la ubicación geográfica de las estaciones automáticas. Así se puede observar la repartición de las estaciones en el territorio en cuestión, sirviendo para inferir las regiones en las que la interpolación genera información más exacta o de menor consistencia debido a la cantidad y distancia de las estaciones. Este visor es implementado bajo el consumo de un servicio WMS (Web Map Server), proporcionado por la Universidad de Chimborazo UNACH, véase en la ilustración 23.

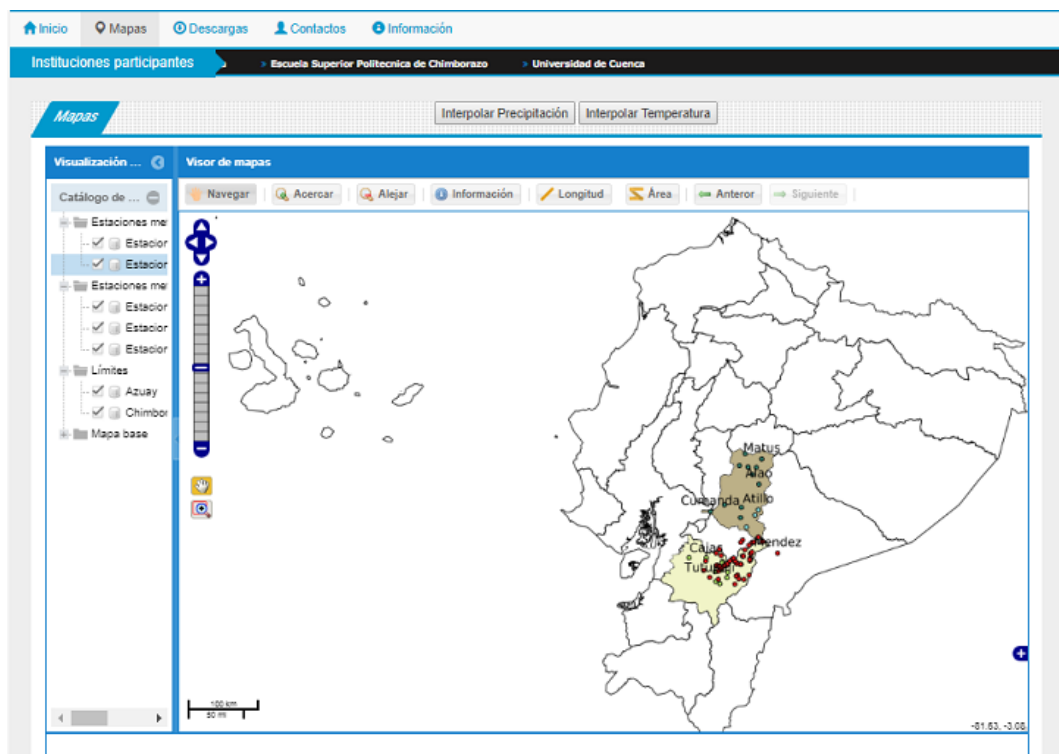


Ilustración 23. Visor geográfico.



El sistema permite la generación de un ráster como resultado de la aplicación del método de Ordinary Kriging a los datos hidrometeorológicos contenidos en la base de datos. Este ráster se muestra sobre el mapa del visor, para esto se deberá presionar la opción de interpolar precipitación o interpolar temperatura. El sistema solicitará la ejecución de un servicio WPS que devuelve una imagen con la extensión .tif, producto de la aplicación de la interpolación.

### **3.3.8 Internet**

CEDIA proporciona los recursos (hosting, dominio) para que el sistema alojado en su servidor se pueda visualizar en internet. De esta manera, los datos de las estaciones, los datos hidrometeorológicos y la generación de la imagen ráster están a servicio de los interesados.

### **3.3.9 Usuarios**

Los usuarios que deseen interactuar con el sistema podrán hacer uso de los datos que necesiten, al igual que descargar los reportes que deseen en formato pdf o como hoja de excel. El sistema después de realizar la interpolación de los datos de temperatura o precipitación permite que el ráster generado sea descargado.

## **3.4 Especificación del geoservicio**

El geoservicio seleccionado para la interpolación de datos hidrometeorológicos es Web Processing Service WPS. Al ser un servicio web, solicita datos parametrizados de entrada y regresa el resultado específico. El servicio web solicita como parámetros de entrada hora, fecha y variable a consultar, como resultado se retorna un archivo ráster en formato tif (Ver ilustración 24).



Ilustración 24. Petición de Interpolación.

Por temas contractuales con las instituciones implicadas en la emisión de datos, se ofrecerá el servicio de interpolación únicamente en tiempo casi real. Es decir, los datos emitidos hacia el sistema son receptados cada hora, por lo que el ráster que se consulta es el resultado de la interpolación de los últimos datos recibidos.

### 3.5 Arquitectura del geoservicio

El geoservicio WPS utiliza varios componentes para su ejecución, dividiéndose en 8 instancias hasta su cierre. Además, utiliza herramientas de software que realizan una parte de todo el trabajo que el geoprocetamiento conlleva. La ilustración 25 muestra gráficamente el flujo de procesamiento del servicio implementado.

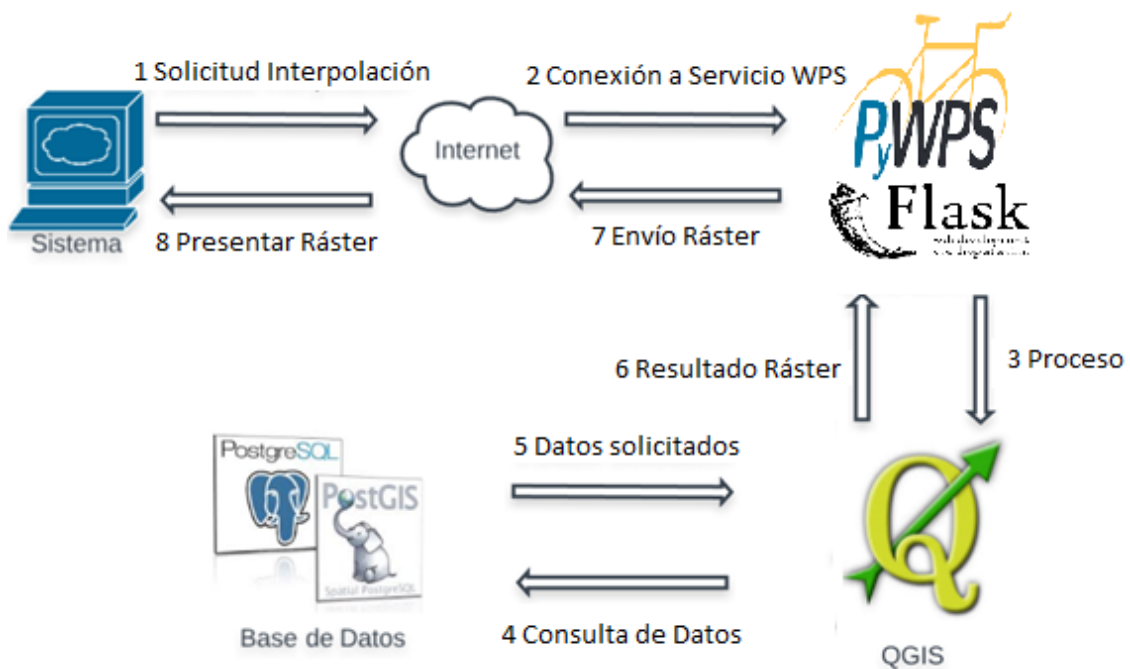


Ilustración 25. Arquitectura de WPS.



Cada interacción entre los componentes realiza una acción de invocación, solicitud o tratamiento de datos, por lo que se debe determinar la función específica de cada uno de ellos. A continuación, se describen a los componentes que se utilizan en el geoservicio web implementado.

### 3.5.1 Solicitud de Interpolación

El proceso de interpolación se realiza mediante la solicitud que efectúa el usuario al sistema web desplegado. El usuario cuenta con la posibilidad de requerir la interpolación utilizando Ordinary Kriging de las variables de temperatura y precipitación. Para esto, se pide al usuario el ingreso de 3 parámetros, necesarios para la ejecución del proceso, como son: Provincia, Fecha y Hora.

Se debe tener en cuenta que el proceso de interpolación toma alrededor de 4 minutos en realizarse; tiempo relativamente largo para un usuario común. Por lo que se implementa en el servidor un almacén de ráster ya creados. De tal manera que, si se realiza una solicitud de una interpolación ya ejecutada anteriormente, la respuesta es inmediata.

### 3.5.2 Conexión a Servicio PyWPS mediante Flask

El estándar Web Processing Service WPS ha sido la base para el desarrollo de una serie de herramientas que facilitan su uso y el de sus complementos. Una de estas herramientas es PyWPS que es una implementación del estándar del servicio de procesamiento web del Open Geospatial Consortium. PyWPS está escrito en Python y permite la integración, publicación y ejecución de procesos de Python a través del estándar WPS (PyWPS, 2018). Por tal motivo se utiliza como framework para la implementación del Geoservicio web a Flask, que es una herramienta desarrollada en Python, que implementa varias funcionalidades de este mismo lenguaje a través de la instalación de plugins.

Para implementar el geoservicio es necesario importar a la librería de PyWPS y varios componentes de esta, como formatos de datos simples, complejos y sobre todo a “Process” que es el complemento que nos permite estructurar los parámetros de entrada, salida y la ejecución del geoservicio web. La sentencia utilizada para esto es:

```
from pywps import Process, LiteralInput, LiteralOutput, Format, ComplexOutput
```

El siguiente paso es la creación de una clase que importe al componente “Process”, y que nos permita definir los tipos de datos (simples o complejos) de



entrada y salida. Adicional a esto se agregan los datos necesarios para realizar la definición del geoservicio cuando se consulte a “DescribeProcess”. La clase implementada en Python que permite esta definición se puede visualizar en la ilustración 26.

```
4
5 class Raster(Process):
6
7     def __init__(self):
8         inputs = [LiteralInput('date', 'fecha a buscar', data_type='string'),
9                   LiteralInput('type_variable', 'tem/pres', data_type='string')]
10
11         outputs = [ComplexOutput('buff_out', 'Buffered', supported_formats=[Format('image/tiff')])]
12
13         super(Raster, self).__init__(
14             self._handler,
15             identifier='raster',
16             title='creación del raster',
17             version='1.0.0',
18             inputs=inputs,
19             outputs=outputs,
20             store_supported=True,
21             status_supported=True
22         )
```

Ilustración 26. Definición de Geoservicio WPS.

Una vez definidos los parámetros y los tipos de datos o archivos de entrada y salida, se establece el proceso a realizar. Por lo general se ejecuta un archivo externo que contiene las instrucciones a ejecutar, en este caso se aprovecha el hecho de que Flask y QGIS utilizan el mismo lenguaje. Por lo tanto, para realizar la interpolación de los datos hidrometeorológicos se inicializa el complemento “Processing” de QGIS y se agrega el script creado en la sección 3.2 como se puede observar en la ilustración 27. Nótese que las entradas y las salidas de datos, coinciden con la definición establecida en la función init de la clase Raster que importa a “Process” de PyWPS.



```
def _handler(self, request, response):
    from qgis.core import QgsVectorLayer
    import processing
    from processing.core.Processing import Processing
    Processing.initialize()

    azuay=QgsVectorLayer('./data/shapes/Azuay_wgs84.shp', 'azuay', 'ogr')
    chimborazo=QgsVectorLayer('./data/shapes/dip_06.shp', 'chimborazo', 'ogr')
    unido=QgsVectorLayer('./data/shapes/Unido.shp', 'unido', 'ogr')
    estaciones=QgsVectorLayer('./data/shapes/Estaciones_interpolacionF.shp', 'estaciones', 'ogr')
    r1=r'./data/results/r1'
    r2=r'./data/results/r2'
    raster=r'./data/results/raster'
    processing.run("saga:ordinarykriging", {'POINTS': './data/shapes/Estaciones_interpolacionF.shp', 'FIELD': 'Prec_a
[EPSG:32717]', 'TARGET_USER_SIZE': 30, 'TARGET_USER_FITS': 1, 'PREDICTION': './data/results/r1.sdat', 'VARIANCE': './d

    processing.run("gdal:clprasterbymasklayer", {'INPUT': './data/results/r2.sdat', 'MASK': './data/shapes/Unido.shp

    response.outputs['buff_out'].output_format = 'image/tiff'
    response.outputs['buff_out'].file = './data/results/raster.tif'
```

*Ilustración 27. Script de interpolación.*

Flask importa internamente los componentes necesarios para la generación del geoservicio, por lo que es necesario desplegarlo. Por default, estos componentes se despliegan con la ejecución del archivo demo.py, por lo que se ingresa dentro del fichero pywps\_flask y se ejecuta de la siguiente manera: python3 demo.py. Esto levanta a los geoservicios implementados y deja al servidor a la escucha de las peticiones que se soliciten.

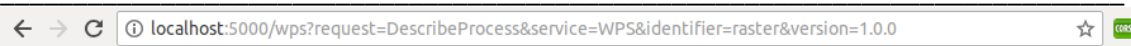
Un geoservicio utiliza varios tipos de archivos o datos, por lo que es propicio exponer con metadatos la concepción del servicio. De esta manera, se presenta como medio un archivo XML (Extensible Markup Language) que se puede solicitar al navegador web bajo una URL (Uniform Resource Locator): localhost:5000/wps?request=DescribeProcess&service=WPS&identifier=raster &versión=1.0.0

Esta URL solicita al navegador la conexión con el servidor, para la ejecución del método “DescribeProcess” que presenta un XML del geoservicio web denominado en este caso “raster”. La respuesta a esta solicitud se puede visualizar en la ilustración 28.





## Universidad de Cuenca



This XML file does not appear to have any style information associated with it. The document tree is shown below.

```
<!-- PyWPS 4.0.0 -->
<wps:ProcessDescriptions xmlns:wps="http://www.opengis.net/wps/1.0.0" xmlns:ows="http://www.opengis.net/ows/1.1"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/wps/1.0.0 ../wpsDescribeProcess_response.xsd" service="WPS"
version="1.0.0" xml:lang="en-US">
  <ProcessDescription wps:processVersion="1.0.0" storeSupported="true" statusSupported="true">
    <ows:Identifier>raster</ows:Identifier>
    <ows:Title>creación del raster</ows:Title>
    <ows:Abstract>
      Este proceso crea el raster y se queda en espera de respuesta para devolver el resultado
    </ows:Abstract>
    <DataInputs>
      <Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <ows:Identifier>date</ows:Identifier>
        <ows:Title>fecha a buscar</ows:Title>
        <ows:Abstract/>
        <LiteralData>
          <ows:DataType ows:reference="http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/#string">string</ows:DataType>
          <ows:AnyValue/>
        </LiteralData>
      </Input>
      <Input minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <ows:Identifier>type_variable</ows:Identifier>
        <ows:Title>tem/pres</ows:Title>
        <ows:Abstract/>
        <LiteralData>
```

Ilustración 28. Descripción del geoservicio mediante el método "DescribeProcess".

El usuario que desee utilizar el geoservicio web, debe invocar al método "Execute" de la misma manera que se llama a "DescribeProcess", además debe añadir los parámetros que se soliciten como entrada del geoservicio y el identificador. De esta manera se ejecutará el geoservicio y se tendrá como resultado el archivo ráster producto del geoproceso. Como se lo ejemplifica a continuación:

localhost:5000/wps?request=Execute&service=WPS&identifier=raster&versión=1.0.0&DataInputs=date=12-03-2018;type\_variable=tem;hour=12:00:00

### 3.5.3 Proceso

QGIS utiliza Python como lenguaje para scripting, por lo que la ejecución de un script independiente utilizando sus librerías. debe inicializar e invocar a los componentes que se utilicen. De esta manera, la ejecución de la interpolación utilizando los componentes de QGIS se ejecutará sin la necesidad de abrir la interfaz gráfica de su IDE (Integrated Development Environment).

Los componentes que se requieren para la ejecución de Ordinary Kriging y su inicialización, se pueden observar en la ilustración 27 y se describen de la siguiente manera:

- **QgsVectorLayer:** utilizado para cargar las capas vectoriales, este componente se encuentra contenido en qgis.core.



- **Processing:** encargado de ejecutar los algoritmos mediante scripting, se ubica en `processing.core.Processing`.
- **Inicializar processing:** se encarga de identificar a los algoritmos de los componentes que usa QGIS, en este caso SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) que implementa el método de Ordinary Kriging.

Una vez importados e inicializados los componentes necesarios para ejecutar la interpolación, se puede ejecutar el script que procesa los datos de entrada y genera el archivo ráster final. QGIS al utilizar el método Ordinary Kriging implementado dentro de SAGA, obtiene dos archivos de salida en formato tif: cuadrícula y varianza. Por lo que se devolverá únicamente al archivo de distribución de la variable seleccionada según su varianza.

### 3.5.4 Consulta de Datos

Si bien QGIS (2017) permite la conexión directa con el motor de bases de datos PostgreSQL y su extensión PostGIS que maneja datos geoespaciales, no siempre las bases de datos contienen a estos en su formato vectorial. La base de datos creada en la sección 3.3.6 alberga datos crudos y procesados, por lo que sus valores se guardan de forma primitiva; es decir numérica.

La siguiente consulta se realiza sobre el esquema de Administración expuesto de forma gráfica en el Anexo 1 y obtiene los datos necesarios para realizar una interpolación; mas no en formato shape.

```
Select D.esta_nombre, D.esta_latitud, D.esta_longitud, C.datotratserverm1_valor
from administracion.variableservidor as A
join administracion.sens_variserv as B on B.variserv_id = A.variserv_id
join datosserverm1.datotratadoservidorm1 as C on C.variserv_id = B.variserv_id
and C.sens_id = B.sens_id
join administracion.estacion as D on D.esta_id = C.esta_id
join administracion.parroquia as E on E.parr_id = D.parr_id
join administracion.canton as F on F.cant_id = E.cant_id
join administracion.provincia as G on G.prov_id = F.prov_id
where upper(G.prov_nombre) like upper('Azuay') and
upper(A.variserv_nombre) like upper('Temperatura ambiente (Promedio)')
and C.datotratserverm1_fecha = '2017-01-29' and C.datotratserverm1_hora =
'12:00:00'
```



La consulta presentada hace referencia a los datos de temperatura promedio, por lo que en el caso de precipitación promedio es necesario cambiar esta variable a precipitación (suma). De igual manera, se toma como hora de prueba a las '12h00' y como fecha '2017-01-29' por lo que estos valores deben ser cambiados con los parámetros que el usuario envía.

### 3.5.5 Datos Solicitados

La utilización de archivos o datos vectoriales son parte fundamental en la ejecución de geoprocetos. Por lo que realizar un proceso de conversión de datos primitivos a vectoriales, es una forma de mejorar el rendimiento de un geoservicio web.

Para la ejecución Ordinary Kriging, es necesario de un shapefile que contenga un conjunto de puntos ubicados geográficamente con atributos de valores a interpolar. Estos valores los encontramos como resultado de la sección 3.5.4, por lo que el siguiente paso es realizar su conversión al formato shapefile.

Para crear un shapefile a base de datos primitivos se utilizan las siguientes librerías de Python:

- **UTM:** Toma la respuesta de la consulta a la base de datos e identifica las filas que representan latitud y longitud, de la siguiente manera: `utm.from latlon(row[1], row[2])`.
- **Shapely.Geometry:** Utiliza a su atributo `Point` para crear un punto coordenado con los valores proporcionados, como se muestra a continuación: `Point(u[0], u[1])`.
- **Fiona:** Permite la creación, escritura, o sobre escritura de archivos shape. Por lo tanto, es usada para añadir a un shape el conjunto de puntos obtenidos desde la consulta a la base de datos. Para esto se utiliza el método `fiona.open()` con su parámetro 'w' que permite la escritura de un punto o conjunto de puntos en un shapefile.



```
def create_fileshape_fiona(dirName, request):
    import utm
    schema = {
        'geometry': 'Point',
        'properties': {
            'F1': 'str:5',
            'Nombre': 'str:100',
            'latitud': 'float:13.6',
            'longitud': 'float:13.6',
            'Prec_acc': 'float:13.6'}}

    datadb = getDatDB(request)

    with fiona.open('./data/shapes/' + dirName + '/estaciones.shp', 'w', crs=from_epsg(
32717),
                    driver='ESRI Shapefile',
                    schema=schema) as output:
        for row in datadb:
            u = utm.from_latlon(row[1], row[2])
            point = Point(u[0], u[1])
            prop = {'F1': 'M0141', 'Nombre': row[0], 'latitud': row[1], 'longitud':
row[2],
                    'Prec_acc': row[3]}
            output.write({'geometry': mapping(point), 'properties': prop})

    output.close()
```

*Ilustración 29. Método de transformación de datos primitivos a shapefile.*

Al fusionar estas tres librerías se obtiene una herramienta genérica que permite la utilización de archivos shape consultando datos primitivos. La implementación de esta transformación se puede visualizar en la ilustración 29.

El archivo generado es regresado a QGIS para su ejecución. Este shapefile puede ser guardado en disco duro o utilizarse en memoria primaria únicamente, de ser el caso (QGIS, 2017).

### 3.5.6 Resultado Ráster

QGIS (2017) en su documentación sobre procesamiento mediante scripting muestra que: al tener todos los datos necesarios, se utiliza el complemento Processing para ejecutar los scripts creados. Los datos necesarios para ejecutar la interpolación utilizando Ordinary Kriging se pueden apreciar digitando el comando `processing.alghep("saga:ordinarykriging")` como se puede observar en la ilustración 30.



```
>>> processing.alghelp("saga:ordinarykriging")
ALGORITHM: Ordinary kriging
POINTS <ParameterVector>
ZFIELD <parameters from POINTS>
TQUALITY <ParameterSelection>
LOG <ParameterBoolean>
BLOCK <ParameterBoolean>
DBLOCK <ParameterNumber>
VAR_MAXDIST <ParameterNumber>
VAR_NCLASSES <ParameterNumber>
VAR_NSkip <ParameterNumber>
VAR_MODEL <ParameterString>
SEARCH_RANGE <ParameterSelection>
SEARCH_RADIUS <ParameterNumber>
SEARCH_POINTS_ALL <ParameterSelection>
SEARCH_POINTS_MIN <ParameterNumber>
SEARCH_POINTS_MAX <ParameterNumber>
SEARCH_DIRECTION <ParameterSelection>
USER_BVARIANCE <ParameterBoolean>
OUTPUT_EXTENT <ParameterExtent>
USER_SIZE <ParameterNumber>
USER_FIT <ParameterSelection>
USER_GRID <OutputRaster>
USER_VARIANCE <OutputRaster>
```

*Ilustración 30. Parámetros de Ordinary Kriging.*

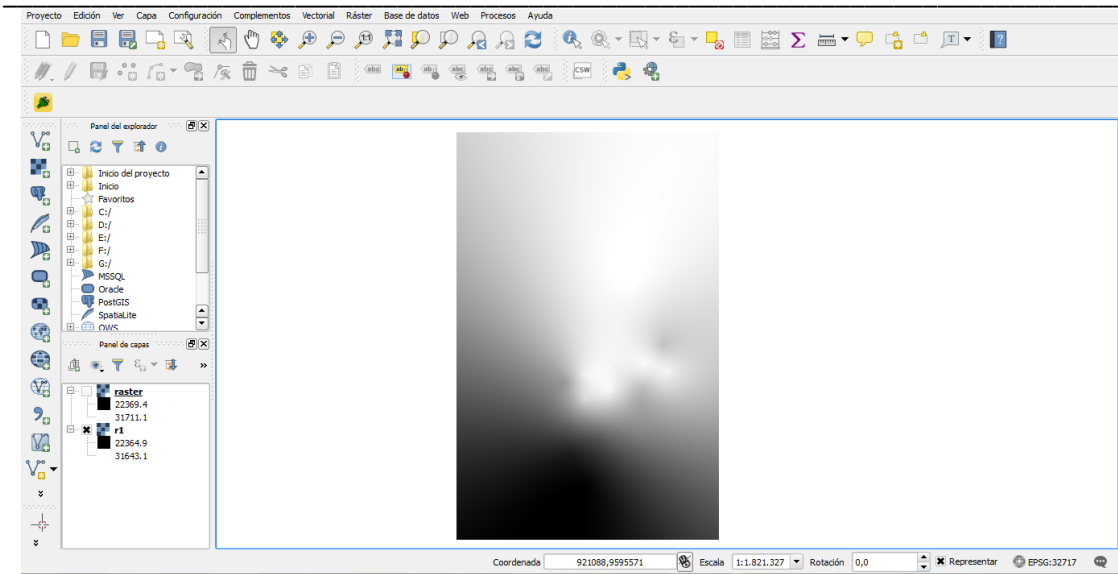
Al verificar los requerimientos necesarios para realizar la interpolación, se ejecuta el siguiente script:

```
processing.runalg("saga:ordinarykriging",datos,"Prec_acc",1,True,False,100,-1,
100,1,"a + b * x",1,1000,1,4,20,0,True, "637401.574701,794208.375,
9598531.6066,9842183.0",100,1,r1,r2)
```

Con esto se genera una imagen ráster en formato tif, que cubre el cuadrante en donde se ejecutó la interpolación (Ver ilustración 31).



## Universidad de Cuenca



*Ilustración 31. Ráster sin cortar resultado de Interpolación.*

Se debe aplicar un Clipper para que la imagen ráster tome la forma del shape de las provincias en cuestión y se especifica una ubicación en donde guardarla. Esto se puede visualizar en la ilustración 32.

```
processing.runalg("saga:clipgridwithpolygon", "/home/edisson/escritorio/IntFin/R  
esultados/r1.tif", "C:\\Users\\Eddy\\Desktop\\IntFin\\Unido.shp", raster)
```



*Ilustración 32. Ráster.*

### 3.5.7 Envío de Ráster

Cuando QGIS ha procesado los datos ingresados, se genera a través de la interpolación el ráster final en formato tif. Este ráster se carga como la salida al geoservicio web y se envía al usuario cerrando el servicio solicitado.

### 3.5.8 Presentación Ráster

El usuario al solicitar la ejecución de la interpolación el sistema recibe como respuesta a su petición, un archivo en formato tif de la variable en cuestión (Precipitación y Temperatura). Este archivo es guardado en un fichero denominado “outputs” ubicado en el servidor. En el caso de que se requiera interpolar una variable en una hora y fecha existente, se devuelve el archivo ya creado anteriormente.

La capa ráster de precipitación y temperatura que es publicada mediante GeoServer, es presentada en el visor al momento que el usuario lo solicite. Adicionalmente, el usuario puede utilizar la opción de descarga del ráster en formato .tif si lo desea, véase en la ilustración 33.

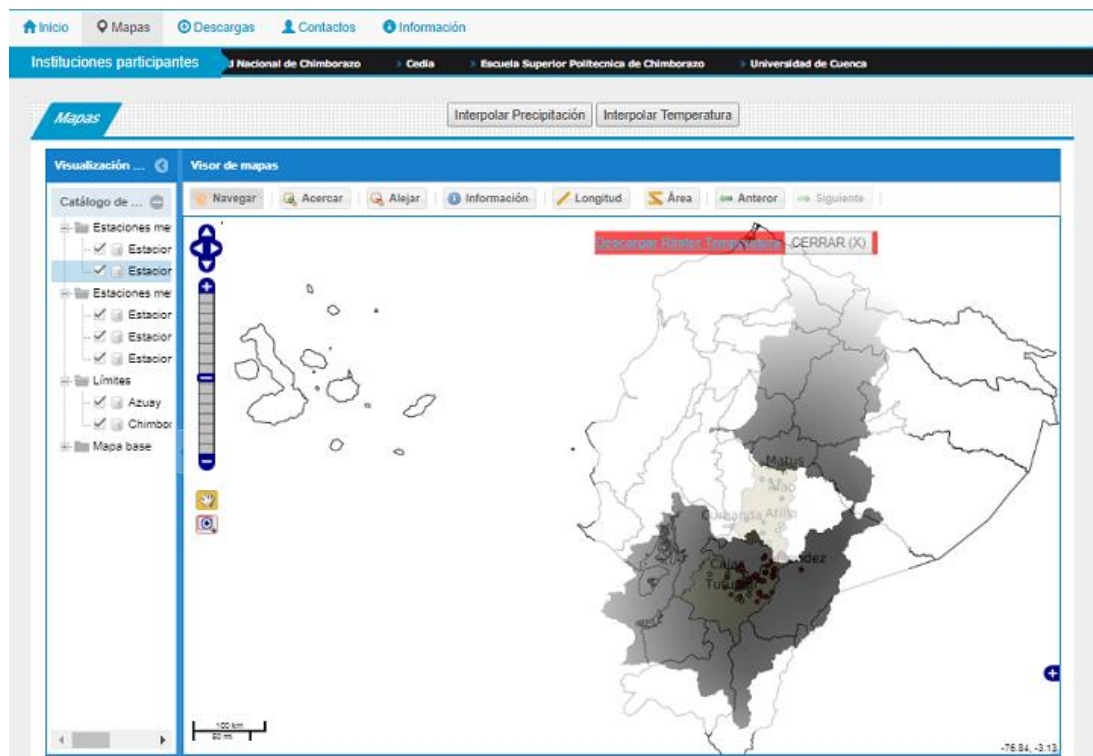


Ilustración 33. Presentación Ráster.

De esta manera se obtiene la interacción entre un servidor del sistema web y un servidor que realiza geoprocesamiento mediante el estándar Web





Processing Service. El archivo ráster que se presenta y se sobrepone al mapa político del Ecuador no se muestra a escala del mapa de fondo, debido a que se da como parámetro el tamaño de cada píxel de 0,00030 m. Esto se puede alterar cambiando la variable “Cellsize” del script de interpolación.

## 4. Conclusiones

Kriging Ordinario resultó ser una buena metodología de interpolación para estimar los valores de las variables meteorológicas de estudio en zonas en las que no se conoce esta información, por carecer de una estación meteorológica, a pesar de no contar con la cantidad de puntos (estaciones) recomendadas para la aplicación del método.

La cantidad de estaciones disponibles para el estudio permitieron obtener resultados satisfactorios para la zona noreste de la provincia de Azuay especialmente, sin embargo, es importante que más instituciones compartan la información meteorológica que poseen para obtener resultados de las provincias en estudio.

Los datos con los que se trabaja son proporcionados por instituciones externas o por estaciones automáticas de la Universidad de Cuenca, ESPOCH y UNACH. En tal condición, los datos no han pasado por un proceso de limpieza propio del sistema, por lo que es posible la existencia de datos anómalos que degeneren el resultado de la interpolación. Esto es atenuado en gran medida al tomar el promedio de los datos censados por hora.

La obtención de valores utilizando métodos de aproximaciones en lugares donde no existen instrumentos de medición, se realizaban mediante el cálculo de isoyetas e isotermas. Esto se debía a que el cálculo era muchas veces realizado a mano o por medio de tecnologías precarias. La utilización del ráster mejoró los resultados de las aproximaciones y eliminó la necesidad de calcular isoyetas e isotermas, debido a que esta información está implícita en los archivos ráster y presentan un mayor manejo. Un archivo ráster puede ser utilizado de una manera muy flexible e inclusive ser transformado a puntos mediante sus metadatos incluidos en cada píxel.

El complemento processing de QGIS, presenta la ventaja de scripting que facilita la automatización de procesos. Processing toma a los procesos de QGIS y los representa en una línea de comandos que mediante parametrización puede generar un proceso sin la necesidad de una interfaz gráfica y en background. Esto permite la fácil utilización de la capacidad de procesamiento de los SIG en sistemas hechos a medida de un usuario.



## 5. Recomendaciones y Limitaciones

Las estaciones hidrometeorológicas tienen diferentes configuraciones de transmisión de datos y periodicidad de captura de datos por los sensores. En el caso de que se utilice los datos obtenidos cada hora, se recomienda que este dato sea el promedio de los datos obtenidos en la configuración de tiempo mínima de la estación. Es decir, si se tratan los datos emitidos por la estación cada hora y la estación tiene la posibilidad de tomar estos datos cada 5 minutos, el dato a tratar debe ser el promedio de los 12 valores obtenidos en este intervalo de tiempo.

Las instituciones externas emiten datos al sistema cada hora. Por lo que, se debe dar un tiempo prudencial, por cuestión de latencia, para que se haga la petición de datos al servicio web proporcionado por la institución.

Los sistemas de coordenadas más utilizadas son UTM (Universal Transverse Mercator) y WGS84 (World Geodetic System 1984). QGIS brinda la posibilidad de trabajar con los dos sistemas, aunque se debe tomar en cuenta que configuración por default utiliza el sistema WGS84. Por lo que, es recomendable que los archivos que se utilicen sean generados utilizando el sistema WGS84 evitando así la reconfiguración del IDE y posibles errores.

Para la utilización de Ordinary Kriging se debe instalar SAGA GIS de manera independiente, debido a que QGIS en Linux no instala este software. Para que QGIS reconozca los procesos de SAGA se recomienda revisar el archivo `SagaAlgorithmProvider.py` y verificar que se defina en la versión de SAGA instalada. Debido a que por default este archivo apunta a la versión 2.2. Por ejemplo: De `"if not version.startswith('2.2.')`" cambiar a `"if not version.startswith('6.4.')`", de ser el caso.

Como se menciona en la sección 2.8.7, según OsGeo (2017) WPS es el Geoservicio menos desarrollado en la actualidad. Por lo que, es recomendable utilizar el soporte proporcionado por la documentación oficial de QGIS e implementar el servidor WPS en el Sistema Operativo Ubuntu.

En la presente investigación se pudo trabajar solo con un año de información meteorológica debido a la necesidad de tener mayor cantidad de estaciones para la aplicación de los métodos geoestadísticos, sin embargo, se recomienda utilizar mayor cantidad de datos debido a que se trabaja a una escala horaria y la precipitación es muy variable.



## 6. Referencias

Abad, I. O. (2014). Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográficas. Recuperado enero 20, 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19857>.

Ahmadi, S. H., & Sedghamiz, A. (2008). Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138(1–3), 357–368. Recuperado junio 2, 2017, de <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9803-2>.

Apache Tomcat. (2017). Documentación Apache Tomcat 7, Septiembre de 2017, de Apache Tomcat. Recuperado febrero 2, 2017, de <http://tomcat.apache.org/tomcat-7.0-doc/index.html>.

ArcGis. (2017). Geoprocесamiento. Recuperado marzo 11, 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/analyze/what-is-geoprocessing.htm>.

Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems. A Management Perspective*. WDL Pub., 294 pp., Ottawa.

Asato, C.G., & Marín, G. (1998). *Institutional GIS of the Geological Survey of Argentina*. GSA, 1998. Toronto, Canada.

Asato, C.G., & Marín, G. (1995). Integración de la Información del Programa Nacional de Cartas Geológicas en el SIG Central del Servicio Geológico. 3ras Jornadas de Usuarios de Arc-Info del Cono Sur, Ed. Aeroterra, Buenos Aires.

Asato, C.G., Perez, F., & Marín, G. (1995). *Condiciones Técnicas y Administrativas para la Digitalización de Mapas Geológicos*. Informe Inédito. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Buenos Aires.

Bernknopf, R.L., Brookshire, D.S., Soller, D.R., McKee, M.J., Sutter, J.F., Matti, J.C., & Campbell, R.H. (1993). *Societal Value of Geologic Maps*. US Geological Survey Circular 1111. 53 pp. Washington D.C. Bureau of mineral resources, geology & geophysics, 1992. *Geographic Information Systems, Cartographic and Geoscience Data Standards*. Canberra.

Besteiro, M., & Rodríguez, M. (2013). *Web Services*.

Bogaert, P., Mahau, P., & Beckers, R.H. (1995). *The Spatial Interpolation of Agroclimatic Data. Cokriging Software and Source Code*. FAO, Rome.

Bonham, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists. Modelling with GIS*. En: *Computer Methods in the Geosciences*. vol. 13. 388 pp.



Bravo, E., & Montenegro, P. (2011). Base de datos geográfica-cartográfica en el instituto geográfico militar del Ecuador con software libre.

Burrough, P. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Oxford University Press.

Campbell. (2016). CR300 Datalogger. septiembre de 2017, de Campbell Soup Company. Recuperado julio 30, 2017, de <https://www.campbellsci.es/cr300>.

Cryan, S. (1991). The Italian Geological Database: In The Beginning. Second European Conference on Geographical Information Systems, Bruselas, Bélgica. Proceedings.

CISC. (2011). Geoprocesamiento de nubes espaciales. enero de 2018, de Center of Intelligent Spatial Computing. Recuperado septiembre 9, 2017, de <http://cisc.gmu.edu/projects/Spatial%20Cloud%20Geoprocessing.htm>.

CRAHI. (2017). Investigación aplicada en Hidrometeorología. 2017, de Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia. Recuperado enero 15, 2018 de: <http://www.crahi.upc.edu>.

Daniele, D. (2009). Aplicación de sistemas de información geográfica al estudio de acuíferos costeros complejos. Caso del campo de Dalías. Universidad Almería.

Díaz Viera, M. A. (2002). Geoestadística Aplicada. Cuba.

Earls, J., & Dixon, B. (2007). Spatial Interpolation of Rainfall Data Using ArcGIS: A Comparative Study. ResearchGate. Recuperado octubre 16, 2017, de [https://www.researchgate.net/publication/255574434\\_Spatial\\_Interpolation\\_of\\_Rainfall\\_Data\\_Using\\_ArcGIS\\_A\\_Comparative\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/255574434_Spatial_Interpolation_of_Rainfall_Data_Using_ArcGIS_A_Comparative_Study).

IDESF (2009). Geoservicios del Open Geospatial Consortium.

INAMHI. (2017). Geoinformación Hidrometeorológica. Agosto de 2017, de INAMHI. Recuperado enero 15, 17, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec>.

INAMHI. (2017). Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas. Agosto de 2017, de INAMHI. Recuperado marzo 16, 2018, de: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>.

Falla, J. (2012). Geoprocesamiento.

García, F. J. M. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas, XIII(1), 0.



GasNaturalFundation. (2011). Visita 1 Estación Meteorológica. Agosto 2017, de Fundación Gas Natural. Recuperado noviembre 20, 2017, de <http://www.agroambient.gva.es>

GeoServer. (2017). Operaciones de WPS. marzo de 2018, de GeoServer. Recuperado diciembre 11, 2017, de <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/services/wps/operations.html>

GeoServer (2017). Publicación de datos ráster, diciembre de 2017, de GeoServer. Recuperado enero 20, 2018 de: [https://geotalleres.readthedocs.io/es/latest/geoserver-raster/geoserver\\_raster.html](https://geotalleres.readthedocs.io/es/latest/geoserver-raster/geoserver_raster.html)

Giraldo Henao, R. (2002). Introducción a la Geostatística, Teoría y Aplicación. Colombia.

GitHub. (2018). Instalación postgres y postgis. Recuperado mayo 12, 2018 de <https://gist.github.com/ansell/4e2843345e6c55c794c80eda3dff8968>

Godino, F. (2013). Diseño de una arquitectura escalable y de alta disponibilidad para un sistema middleware. Universidad Politécnica de Madrid, España, 23.

Gonzalez, J., & Cáceres, G. (2015). Comparativa de herramientas gis desktop. caso de estudio: planes de ordenamiento territorial.

González, J., Guerra, F., & Gómez, H. (2007). Conceptos Básicos De Geoestadística En Geografía Y Ciencias De La Tierra: Manejo Y Aplicación. Recuperado octubre 16, 2016. de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36014577008>.

Guerra, F., Gómez, H., González, J., & Zambrano, Z. (2006). Uso actual de métodos y técnicas para el estudio de la precipitación incluyendo plataformas SIG. Recuperado mayo 17, 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36012424009>.

Journel, A.G. (1989). Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons. Short Course in Geology, AGU, Washington, DC, 8, 40.

Lujan, S. (2002). Programación de Aplicaciones Web: Historia, principios básicos y clientes web. Alicante, España, 5-89.

Ly, S., Charles, C., & Degre, A. (2011). Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. Hydrology and Earth System Sciences, 15(7). Recuperado febrero 28, 2018, de <https://doi.org/10.5194/hess-15-2259-2011>.



Mayorga, J. (2016). Efecto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos sobre la producción agrícola y su impacto en las poblaciones rurales de las provincias de: Guayas, Manabí y Los Ríos.

Mahir, A., & Fares, A. (2011). Comparison of Rainfall Interpolation Methods in a Mountainous Region of a Tropical Island. Recuperado Agosto 30, 2017, de <https://www.colwiz.com>.

Manso, M. (2010). Bases de datos espaciales.

Ministerio para la Transición Ecológica de España. (2018). Infraestructura de Datos Espaciales. España. Recuperado abril 20, 2018 de <https://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/presentacion/que-es-ide.aspx>.

Novella, J. (2012). Estudio del sistema de gestión de base de datos PostgreSQL.

OGC. (2017). Web Processing Service. diciembre de 2017, de Open Geospatial Consortium. Recuperado marzo 15, 2018, de <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>.

Oliver, M. A., & Webster, R. (2015). Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging. Springer.

OsGeo. (2017). Standards. noviembre de 2017, de The Open Source Geospatial Foundation. Recuperado diciembre 10, 2018, de <http://www.opengeospatial.org/standards>.

Pastorini, A. (2012). Servicios Web.

Petterssen, & Sverre, (1956): Weather Analysis and Forecasting. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., Vol. 1: 428 pp., and Vol. 2.

PHP. (2017). Instalación y Configuración de PHP. Noviembre de 2017. Recuperado diciembre 11, 2017, de <http://php.net/manual/es/install.php>.

PhpMyAdmin (2017). Bringing MySQL to the web, enero 2018. Recuperado febrero 1, 2018 de <https://www.phpmyadmin.net/>.

PostGis (2017). PostGis Documentation. Recuperado febrero 16, 2018 de <http://postgis.net/documentation>.

Qgis. (2017). Datos Raster Recuperado noviembre 30, 2017, de [https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle\\_gis\\_introduction/raster\\_data.html](https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html)

Qgis. (2017). Manual de qgis. Octubre de 2017, de QGIS. Recuperado marzo 6, 2018, de [https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/user\\_manual/processing\\_algs/saga/kriging.html](https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/user_manual/processing_algs/saga/kriging.html).





R Project. (2018). The R Project for Statistical Computing. Recuperado abril 15, 2018, de <https://www.r-project.org/>.

Rocha, O. (2014). Geoestadística y métodos de interpolación. Recuperado septiembre 16, 2017, de [https://www.academia.edu/9171839/Geoestadistica\\_y\\_Metodos\\_de\\_Interpolacion](https://www.academia.edu/9171839/Geoestadistica_y_Metodos_de_Interpolacion).

Shepherd, I.D.H. (1992). Information Integration and GIS. Geographical Information Systems. Logman. Vol I :337-360, Londres, UK.

UNA. (2015). Estación Meteorológica. Septiembre de 2017, de Universidad Nacional de Asunción. Recuperado agosto 29, 2017, de <http://www.pol.una.py/?q=node/165>.

Ureña, F. (2011). Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos. Revista Posgrado y Sociedad, 11, (1), p. 33-49.

Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006): Atmospheric science: an introduction survey. 2nd ed. Libro. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 483 pp.

Zhang, H., & Wang, Y. (2010). Kriging and cross-validation for massive spatial data. Environmetrics, 21(3–4), 290–304. Recuperado octubre 15, 2017, de <https://doi.org/10.1002/env.1023>.

Zucarelli, A., Paris, M., & Macor, J. (2014). Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. Recuperado diciembre 10, 2017, de <http://www.tvdigitalargen.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.39.pdf>.

.





## 7. Anexos

La implementación de la propuesta tecnológica debe estar a disposición de la comunidad. Por lo que, se debe configurar un servidor que pueda poner en producción el sistema creado. El servidor alberga todas las herramientas de software necesarias para que el sistema funcione en la web y sea accesible a los usuarios.

### Anexo 1: Esquema de base de datos de la Administración

El diagrama entidad-relación que se presenta en la ilustración 34, muestra la implementación gráfica de la normalización realizada a los datos que intervienen en la interpolación de datos hidrometeorológicos.

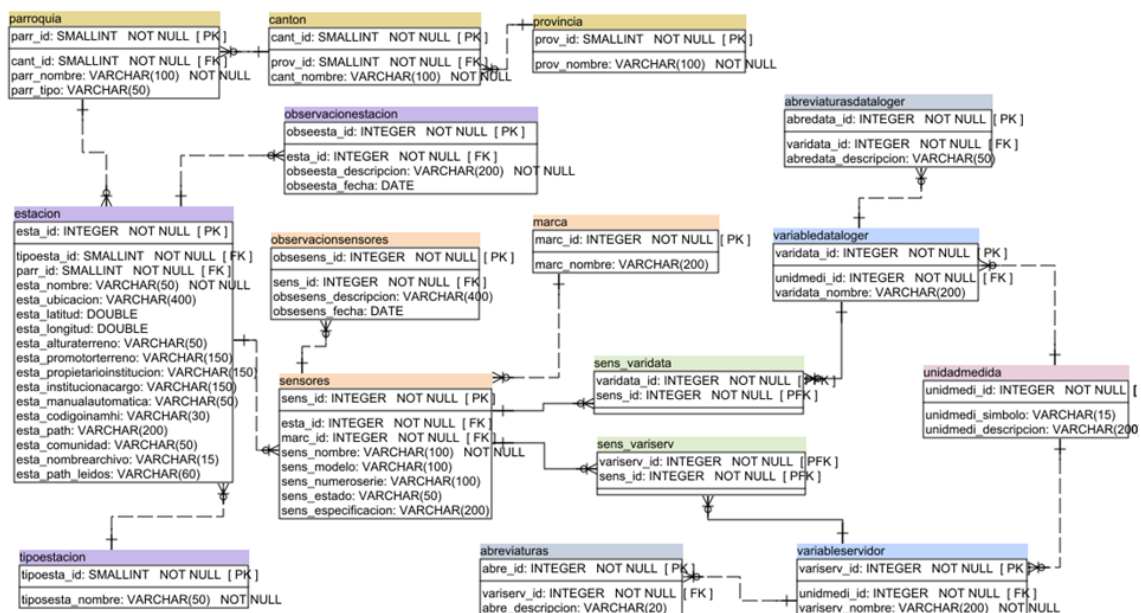
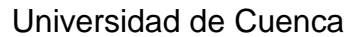


Ilustración 34. Esquema Administrativo de la Base de Datos.



El esquema de base de datos muestra el modo de almacenamiento de los datos. Se presentan 12 tablas de datos procesados, que representan a cada mes del año. Esto se realiza con el objetivo de entregar paquetes de datos mensuales a investigadores encargados de la limpieza de datos. Véase en la ilustración 35.



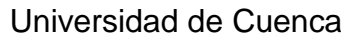


### Anexo 3: Esquema de DataLogger

Se presenta en la ilustración 36, la estructura de las tablas que se almacenan en el datalogger de manera cruda y procesada.

<b>datocrudodataloggerm1</b> datocruddatam1_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam1_fecha: DATE datocruddatam1_hora: TIME datocruddatam1_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam1_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm2</b> datocruddatam2_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam2_fecha: DATE datocruddatam2_hora: TIME datocruddatam2_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam2_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm3</b> datocruddatam3_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam3_fecha: DATE datocruddatam3_hora: TIME datocruddatam3_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam3_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm4</b> datocruddatam4_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam4_fecha: DATE datocruddatam4_hora: TIME datocruddatam4_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam4_valor: VARCHAR(20)
<b>datocrudodataloggerm5</b> datocruddatam5_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam5_fecha: DATE datocruddatam5_hora: TIME datocruddatam5_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam5_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm6</b> datocruddatam6_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam6_fecha: DATE datocruddatam6_hora: TIME datocruddatam6_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam6_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm7</b> datocruddatam7_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam7_fecha: DATE datocruddatam7_hora: TIME datocruddatam7_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam7_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm8</b> datocruddatam8_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam8_fecha: DATE datocruddatam8_hora: TIME datocruddatam8_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam8_valor: VARCHAR(20)
<b>datocrudodataloggerm9</b> datocruddatam9_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam9_fecha: DATE datocruddatam9_hora: TIME datocruddatam9_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam9_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm10</b> datocruddatam10_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam10_fecha: DATE datocruddatam10_hora: TIME datocruddatam10_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam10_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm11</b> datocruddatam11_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam11_fecha: DATE datocruddatam11_hora: TIME datocruddatam11_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam11_valor: VARCHAR(20)	<b>datocrudodataloggerm12</b> datocruddatam12_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datocruddatam12_fecha: DATE datocruddatam12_hora: TIME datocruddatam12_nombrearchivo: VARCHAR(200) datocruddatam12_valor: VARCHAR(20)
<b>datotratadodataloggerm1</b> datotratadatam1_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam1_fecha: DATE datotratadatam1_hora: TIME datotratadatam1_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam1_valor: VARCHAR(20) datotratadatam1_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm2</b> datotratadatam2_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam2_fecha: DATE datotratadatam2_hora: TIME datotratadatam2_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam2_valor: VARCHAR(20) datotratadatam2_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm3</b> datotratadatam3_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam3_fecha: DATE datotratadatam3_hora: TIME datotratadatam3_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam3_valor: VARCHAR(20) datotratadatam3_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm4</b> datotratadatam4_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam4_fecha: DATE datotratadatam4_hora: TIME datotratadatam4_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam4_valor: VARCHAR(20) datotratadatam4_estado: VARCHAR(10)
<b>datotratadodataloggerm5</b> datotratadatam5_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam5_fecha: DATE datotratadatam5_hora: TIME datotratadatam5_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam5_valor: VARCHAR(20) datotratadatam5_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm6</b> datotratadatam6_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam6_fecha: DATE datotratadatam6_hora: TIME datotratadatam6_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam6_valor: VARCHAR(20) datotratadatam6_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm7</b> datotratadatam7_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam7_fecha: DATE datotratadatam7_hora: TIME datotratadatam7_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam7_valor: VARCHAR(20) datotratadatam7_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm8</b> datotratadatam8_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam8_fecha: DATE datotratadatam8_hora: TIME datotratadatam8_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam8_valor: VARCHAR(20) datotratadatam8_estado: VARCHAR(10)
<b>datotratadodataloggerm9</b> datotratadatam9_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam9_fecha: DATE datotratadatam9_hora: TIME datotratadatam9_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam9_valor: VARCHAR(20) datotratadatam9_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm10</b> datotratadatam10_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam10_fecha: DATE datotratadatam10_hora: TIME datotratadatam10_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam10_valor: VARCHAR(20) datotratadatam10_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm11</b> datotratadatam11_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam11_fecha: DATE datotratadatam11_hora: TIME datotratadatam11_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam11_valor: VARCHAR(20) datotratadatam11_estado: VARCHAR(10)	<b>datotratadodataloggerm12</b> datotratadatam12_id: VARCHAR(200) [ PK ] esta_id: INTEGER sens_id: INTEGER varidata_id: INTEGER datotratadatam12_fecha: DATE datotratadatam12_hora: TIME datotratadatam12_nombrearchivo: VARCHAR(200) datotratadatam12_valor: VARCHAR(20) datotratadatam12_estado: VARCHAR(10)

Ilustración 36. Esquema de tablas en el DataLogger.



La ilustración 37 presenta el esquema de la estructura de las tablas que contienen los datos que se guardan en el servidor. Estos datos pueden ser crudos y procesados.

*Ilustración 37. Esquema de tablas en el Servidor.*



## Anexo 5: Instalación de Apache Tomcat 7

Apache Tomcat es un servidor web opensource para aplicaciones Java de Apache Foundation como el servidor HTTP Apache. Se utilizó para implementar Java Servlet y aplicaciones JSP (Apache Tomcat, 2017).

### Chequear la versión de Java instalado en su equipo

JAVA es el primer requisito para la instalación de Tomcat 7. Por lo tanto, se debe asegurar que se tienen JAVA SE 6 o una versión posterior instalada en el sistema. Se utiliza el siguiente comando para comprobar si ya tiene java instalado en su sistema.

```
# java -version
java version "1.8.0_72"
Java(TM) SE Runtime Environment (build 1.8.0_72-b15)
Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM (build 25.72-b15, mixed mode)
```

### Descargar la versión del software

Utilizando el comando cd, nos ubicamos en el /tmp

```
# cd /tmp
```

En la página oficial de Apache Tomcat, se puede encontrar los repositorios en los que se albergan las diferentes versiones de esta herramienta para las diferentes versiones de Sistemas Operativos (SO). Ubicamos la versión de Apache tomcat 7 para el SO que elegimos (CentOS 6) y copiamos esta url (Apache Tomcat, 2017). Para la descarga del paquete necesario, utilizamos "wget" y añadimos la ubicación web de repositorio, como se muestra en la siguiente línea de código:

```
# wget http://www-us.apache.org/dist/tomcat/tomcat-7/v7.0.73/bin/apache-  
tomcat-7.0.73.tar.gz
```





## Permisos y descomprensión de Apache Tomcat

Según la documentación de Apache Tomcat (2017):

Se debe proporcionar los permisos (para todos los usuarios) de lectura, escritura y ejecución al archivo descargado, para los que se utiliza `chmod 777` y se agrega el archivo en cuestión.

```
#chmod 777 apache-tomcat-7.0.73.tar.gz
```

Al dar los permisos necesarios al archivo descargado, el sistema nos permite su utilización. Se procede a descomprimir el paquete con el uso del siguiente comando:

```
# tar xzf apache-tomcat-7.0.73.tar.gz
```

Mover la carpeta desempaquetada al directorio `/usr/local/tomcat7`

```
# mv apache-tomcat-7.0.73 /usr/local/tomcat7
```

## Iniciar Apache Tomcat

Apache Tomcat que funciona como un contenedor de servlets, es fácil de usar debido a que no hay necesidad de compilar su fuente. Simplemente se debe extraer el archivo e iniciar el servidor tomcat. Tomcat por defecto inicia en el puerto 8080, debido a esto es fundamental que se asegure de que no haya otros servicios que se estén ejecutando en el mismo puerto (Apache Tomcat, 2017).

Para inicializar Apache Tomcat, primero se debe ubicar en el path del archivo

```
# cd /usr/local/tomcat7
```

Se debe ejecutar el archivo `startup.sh`

```
# ./bin/startup.sh
```

El resultado mostrará datos generales e indicará que Apache Tomcat se inicializó:

```
Using CATALINA_BASE: /usr/local/tomcat7
```



## Universidad de Cuenca

Using CATALINA\_HOME: /usr/local/tomcat7

Using CATALINA\_TMPDIR: /usr/local/tomcat7/temp

Using JRE\_HOME: /opt/jdk1.8.0\_72

Using CLASSPATH:

/usr/local/tomcat7/bin/bootstrap.jar:/usr/local/tomcat7/bin/tomcat-juli.jar

Tomcat started.

### Acceso usando su navegador web

Para acceder a Apache Tomcat en su interfaz gráfica mediante el navegador web, se debe conectar al puerto 8080.

http://localhost:8080

De esta manera se tendrá acceso a la administración de aplicaciones, de forma gráfica como se puede observar en la ilustración 38.

Trayectoria	Versión	Nombre a Mostrar	Ejecutándose	Sesiones	Comandos
/	Ninguno especificado	Welcome to Tomcat	true	0	Arrancar Parar Recargar Replegar Expirar sesiones sin trabajar ≥ 30 minutos
/docs	Ninguno especificado	Tomcat Documentation	true	0	Arrancar Parar Recargar Replegar Expirar sesiones sin trabajar ≥ 30 minutos
/examples	Ninguno especificado	Servlet and JSP Examples	true	0	Arrancar Parar Recargar Replegar Expirar sesiones sin trabajar ≥ 30 minutos
/geonetwork	Ninguno especificado	geonetwork	true	0	Arrancar Parar Recargar Replegar Expirar sesiones sin trabajar ≥ 35 minutos
/geopostales	Ninguno especificado		true	0	Arrancar Parar Recargar Replegar

Ilustración 38. Interfaz gráfica Apache Tomcat.

Finalmente, se necesita crear las respectivas cuentas de usuario para proteger y acceder a las páginas de admin / manager.

Se debe editar el archivo **conf / tomcat-users.xml** en su editor y pegarlo dentro de las etiquetas **<tomcat-users>** **</tomcat-users>**, como se muestra a continuación (Apache Tomcat, 2017).





```
<!-- user manager can access only manager section -->
<role rolename="manager-gui" />
<user username="manager" password="_SECRET_PASSWORD_"
roles="manager-gui" />

<!-- user admin can access manager and admin section both -->
<role rolename="admin-gui" />
<user username="admin" password="_SECRET_PASSWORD_"
roles="manager-gui,admin-gui" />
```

**Nota:** el nombre del usuario nunca debe ser “admin”, por cuanto existen conflictos y no se puede logear en tomcat.

Se procede a guardar los cambios en el archivo, parar e iniciar nuevamente el servicio de Apache Tomcat

## Anexo 6: Instalación de PostgreSQL y PostGIS

El motor de Bases de Datos utilizado en el sistema desarrollado es PostgreSQL en su versión 9.5. El manejo de datos Geográficos y vectoriales se lo realiza mediante la extensión de PostgreSQL denominada PostGIS en su versión 2.2.

### PostgreSQL

Para la instalación de este motor de Base de Datos es necesario en primera instancia, identificar el repositorio en donde se encuentran los paquetes para CentOS (PostgreSQL, 2017). CentOS utiliza rpm por lo que se añade el siguiente repositorio:

```
# rpm -Uvh http://yum.postgresql.org/9.5/redhat/rhel-6-x86_64/pgdg-redhat95-9.5-2.noarch.rpm
```

La instalación del paquete se realiza mediante el comando yum:

```
# yum install postgresql95-server postgresql95
```

Después de instalar el servidor como lo menciona PostgreSQL (2017), es necesario inicializarlo antes de usarlo por primera vez. Para inicializar el uso de la base de datos, utilizamos el siguiente comando:

```
#service postgresql-9.5 initdb
```



Iniciamos el servicio de postgresql.

```
#service postgresql-9.5 start
```

Agregar el servicio de postgresql al iniciar del sistema operativo.

```
chkconfig postgresql-9.5 on
```

En esta instancia, se debe crear un usuario y se vinculará con la sesión de usuario.

```
$ sudo su postgres -c psql
```

```
postgres=# CREATE ROLE nombredeusuario SUPERUSER LOGIN;
```

```
postgres=# \q
```

Se procede a cambiar contraseña del usuario PostgreSQL:

```
$ sudo su postgres -c psql
```

```
postgres=# ALTER USER postgres WITH PASSWORD 'nueva_contraseña';
```

```
postgres=# \q
```

Para permitir conexiones remotas se edita el archivo postgresql.conf.

```
# nano /var/lib/pgsql/9.5/data/postgresql.conf
```

Se agregan las siguientes líneas de comandos al archivo postgresql.conf.

```
listen_addresses = '*'
```

```
password_encryption = on
```

Se guarda los cambios se reinicia:

```
service postgresql_9.5 restart
```

La configuración de la lista de acceso permite decirle a PostgreSQL, qué método de autenticación se usa y establece relaciones de confianza para ciertos equipos y redes (PostgreSQL, 2017). Se debe editar el fichero **pg\_hba.conf**:

```
# /var/lib/pgsql/9.5/data/pg_hba.conf
```

Al final del archivo se encuentra una lista de acceso predeterminada, ahora, dependiendo de la necesidad se puede hacer lo siguiente: En el caso de que se necesite que cualquier usuario (usuario de base de datos autenticado) se conecte por medio de cualquier dirección IP, se debe agregar al final la siguiente línea:

```
#host all all 0.0.0.0 0.0.0.0 password
```



---

Se procede a guardar los cambios y reiniciar el dominio.

```
#service postgresql restart
```

## Postgis2.2

“Con la instalación de PostgreSQL, los repositorios de sus extensiones se habilitan para una posterior instalación” (PostgreSQL, 2017). De esta manera, para la instalación de PostGIS utilizamos el siguiente comando:

```
#yum install postgis2_95 postgis2_95-cliente
```

(OPCIONAL EN CASO DE ERRORES)

El cliente `postgis2_95` contiene las herramientas de línea de comandos PostGIS `shp2gpsql`, `pgsql2shp`, `raster2pgsql` que son útiles para cargar o exportar datos espaciales.

Según la documentación de PostGIS (2017,) puede dar el caso que la instalación de PostGIS tenga errores como los siguientes:

--> Finished Dependency Resolution

Error: Package: `gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64` (pgdg95)

Requires: `libdapclient.so.3()(64bit)`

Error: Package: `gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64` (pgdg95)

Requires: `libdap.so.11()(64bit)`

Error: Package: `gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64` (pgdg95)

Requires: `libspatialite.so.2()(64bit)`

Error: Package: `postgis2_95-2.2.0-1.rhel6.x86_64` (pgdg95)

Requires: `hdf5`

Error: Package: `gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64` (pgdg95)

Requires: `libarmadillo.so.4()(64bit)`

Error: Package: `gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64` (pgdg95)

Requires: `libCharLS.so.1()(64bit)`

Error: Package: `gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64` (pgdg95)



---

```
Requires: libgta.so.0()(64bit)
Error: Package: gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64 (pgdg95)
      Requires: libgeotiff.so.1.2()(64bit)
Error: Package: gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64 (pgdg95)
      Requires: libfreexl.so.1()(64bit)
Error: Package: gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64 (pgdg95)
      Requires: libdapserver.so.7()(64bit)
Error: Package: gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64 (pgdg95)
      Requires: libcfitsio.so.0()(64bit)
Error: Package: gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64 (pgdg95)
      Requires: libnetcdf.so.6()(64bit)
Error: Package: gdal-libs-1.9.2-7.rhel6.x86_64 (pgdg95)
      Requires: libhdf5.so.6()(64bit)
```

El problema se produce debido a que, los paquetes de dependencia no se distribuyen con repo yum PostgreSQL. La mayoría de ellos se encuentran en los paquetes adicionales para RHEL Enterprise Linux repo EPEL (PostGIS, 2017). En el caso de que se obtengan estos errores, se debe colocar la siguiente línea de comandos:

```
#yum -y install epel-release
```

En el caso de que el error o errores persistan, es posible que se tenga que encontrar el epel repo explícito. Por lo que para CentOS 6 se debe usar la siguiente línea de comandos:

```
#rpm -ivh http://dl.fedoraproject.org/pub/epel/epel-release-latest-6.noarch.rpm
```

Con esto, se obtendrá el siguiente resultado:

```
Preparing... #####
[100%]
 1:epel-release #####
[100%]
```



Ahora se repite el comando anteriormente ingresado en la consola:

```
sudo yum install postgres2_95
```

Si el comando del literal 2 fue satisfactorio y no tuvo errores se presentará lo siguiente:

Dependencies Resolved

```
=====
=====
```

Package	Arch	Version	Repository	Size
=====				
=====				

Installing:

postgres2_95	x86_64	2.2.1-3.rhel7	pgdg95	3.8 M
--------------	--------	---------------	--------	-------

Installing for dependencies:

CGAL	x86_64	4.7-1.rhel7	pgdg95	253 k
CharLS	x86_64	1.0-5.el7	epel	63 k
SFCGAL	x86_64	1.2.2-1.rhel7	pgdg95	14 k
SFCGAL-libs	x86_64	1.2.2-1.rhel7	pgdg95	1.7 M
armadillo	x86_64	4.320.0-1.el7	epel	21 k
arpack	x86_64	3.1.3-2.el7	epel	101 k
atlas	x86_64	3.10.1-10.el7	base	4.5 M
blas	x86_64	3.4.2-5.el7	base	399 k
boost-date-time	x86_64	1.53.0-25.el7	base	51 k
boost-serialization	x86_64	1.53.0-25.el7	base	170 k
boost-system	x86_64	1.53.0-25.el7	base	39 k
boost-thread	x86_64	1.53.0-25.el7	base	57 k
cfitsio	x86_64	3.370-1.el7	epel	526 k
fontconfig	x86_64	2.10.95-7.el7	base	228 k
fontpackages-filesystem	noarch	1.44-8.el7	base	9.9 k
freexl	x86_64	1.0.0f-1.el7	epel	31 k
gdal-libs	x86_64	1.11.2-2.el7	epel	4.4 M



## Universidad de Cuenca

geos	x86_64	3.5.0-1.rhel7	pgdg95	540 k
giflib	x86_64	4.1.6-9.el7	base	40 k
hdf5	x86_64	1.8.12-7.el7	epel	1.6 M
jasper-libs	x86_64	1.900.1-29.el7	base	149 k
jbigkit-libs	x86_64	2.0-11.el7	base	46 k
lapack	x86_64	3.4.2-5.el7	base	5.4 M
lcms2	x86_64	2.6-2.el7	base	150 k
libICE	x86_64	1.0.9-2.el7	base	65 k
libSM	x86_64	1.2.2-2.el7	base	39 k
libX11	x86_64	1.6.3-2.el7	base	605 k
libX11-common	noarch	1.6.3-2.el7	base	162 k
libXau	x86_64	1.0.8-2.1.el7	base	29 k
libXdamage	x86_64	1.1.4-4.1.el7	base	20 k
libXext	x86_64	1.3.3-3.el7	base	39 k
libXfixes	x86_64	5.0.1-2.1.el7	base	18 k
libXxf86vm	x86_64	1.1.3-2.1.el7	base	17 k
libdap	x86_64	3.13.1-2.el7	epel	423 k
libgeotiff	x86_64	1.2.5-14.el7	epel	545 k
libgfortran	x86_64	4.8.5-4.el7	base	293 k
libgta	x86_64	1.0.4-1.el7	epel	32 k
libjpeg-turbo	x86_64	1.2.90-5.el7	base	134 k
libpng	x86_64	2:1.5.13-7.el7_2	updates	213 k
libquadmath	x86_64	4.8.5-4.el7	base	182 k
libtiff	x86_64	4.0.3-14.el7	base	167 k
libtool-ltdl	x86_64	2.4.2-20.el7	base	49 k
libwebp	x86_64	0.3.0-3.el7	base	170 k
libxcb	x86_64	1.11-4.el7	base	189 k
libxshmfence	x86_64	1.2-1.el7	base	7.2 k
mesa-libGL	x86_64	10.6.5-3.20150824.el7	base	184 k



## Universidad de Cuenca

mesa-libGLU	x86_64	9.0.0-4.el7	base	196 k
mesa-libglapi	x86_64	10.6.5-3.20150824.el7	base	39 k
mpfr	x86_64	3.1.1-4.el7	base	203 k
netcdf	x86_64	4.3.3.1-5.el7	epel	693 k
ogdi	x86_64	3.2.0-0.19.beta2.el7	epel	248 k
openjpeg-libs	x86_64	1.5.1-10.el7	base	85 k
poppler	x86_64	0.26.5-5.el7	base	782 k
poppler-data	noarch	0.4.6-3.el7	base	2.2 M
proj	x86_64	4.8.0-4.el7	epel	181 k
unixODBC	x86_64	2.3.1-11.el7	base	413 k
xerces-c	x86_64	3.1.1-7.el7_1	base	878 k

### Transaction Summary

=====

Install 1 Package (+57 Dependent packages)

Total download size: 33 M

Installed size: 169 M

Is this ok [y/d/N]:

Ahora se debe confirmar para que se concluya con la instalación. Una vez terminada, se presentará el mensaje de completitud.

Installed:

postgis2\_95.x86\_64...

Complete!

### Habilitar extensiones de una base de datos

Para instalar PostGIS 2.2 y la familia extendida empaquetada con PostGIS 2.2, se debe crear una base de datos e instalar las extensiones (PostGIS, 2017). Para realizar este proceso se debe ingresar en la línea de comandos:

su postgres





---

```
/usr/pgsql-9.5/bin/psql -p 5432
```

```
CREATE DATABASE gistest;
```

```
\connect gistest;
```

Si la conexión a la base de datos creada fue exitosa, se debe realizar lo siguiente:

You are now connected to database "gistest" as user "postgres".

Ahora se crearán las extensiones para la base de datos:

```
CREATE EXTENSION postgis;
```

```
CREATE EXTENSION postgis_topology;
```

```
CREATE EXTENSION ogr_fdw;
```

Para verificar la instalación ejecute el siguiente comando:

```
SELECT postgis_full_version();
```

Se mostrará lo siguiente:

```
postgis_full_version
```

```
-----  
-----  
POSTGIS="2.2.1 r14555" GEOS="3.5.0-CAPI-1.9.0 r4084" PROJ="Rel. 4.8.0,  
6 March 2012" GDAL="GDAL 1.11.2, released 2015/02/10" LIBXML="2.9.1"  
LIBJSON="0.11" TOPOLOGY RASTER
```

Para salir del shell de postgresql ejecute el siguiente comando:

```
\q
```

```
exit
```

Para actualizar la versión de postgis se ejecuta el comando:

```
yum update postgis2_95
```

Ahora se procede a conectar nuevamente a PostgreSQL y actualizar la base de datos. Esto se realiza con los siguientes comandos:

```
su postgres
```

```
/usr/pgsql-9.5/bin/psql -p 5432 -d gistest
```

```
#ALTER EXTENSION postgis UPDATE;
```

```
#ALTER EXTENSION postgis_topology UPDATE;
```

```
#SELECT postgis_full_version();
```



---

```
#SELECT postgis_full_version();
```

Para instalar pgRouting y verificar la instalación:

```
CREATE EXTENSION pgrouting;
```

```
SELECT * FROM pgr_version();
```

Según la versión de pgrouting se mostrará lo siguiente:

version	tag	build	hash	branch	boost
2.1.0	pgrouting-2.1.0	1	b38118a	master	1.53.0

(1 row)

Para salir del Shell de postgres se ejecuta la siguiente línea de comandos:

```
#\q  
#exit
```

## Anexo 7: Instalación de Apache

Apache, es un servidor web HTTP de código abierto, para distintas plataformas, que implementa el protocolo HTTP/1.12. Se puede instalar Apache fácilmente usando gestor de paquetes de CentOS “yum” (Apache, 2017).

Para iniciar, se deben ingresar los siguientes comandos:

```
#yum install httpd
```

Ya instalado el servidor web, se procede a iniciar el servicio en el Cloud Server.

```
#service httpd start
```

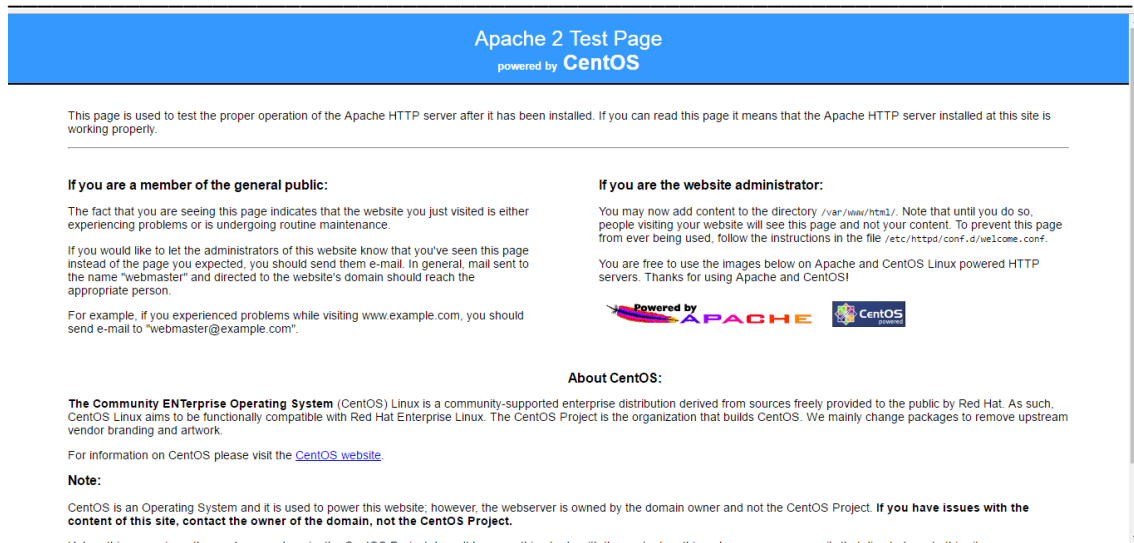
Se verifica que el servicio opere de manera correcta. Para esto, se escribe la dirección IP de nuestro Cloud Server en un navegador web.

```
http://IP_delServidor
```

Si se visualiza en el navegador seleccionado, lo que se presenta en la ilustración 39, significa que el servidor web se instaló correctamente.



## Universidad de Cuenca



*Ilustración 39. Despliegue de Apache*

Para garantizar que el servicio se ejecute con cada inicio del sistema operativo, es necesario activarlo ejecutando:

```
#chkconfig httpd on
```

### Anexo 8: Instalación de PHP

PHP es el acrónimo recursivo de PHP: Hypertext Preprocessor, que es un lenguaje enfocado para el desarrollo web que permite ejecutar scripts, conectarse con bases de datos de MySQL/MariaDB, entre otras características (PHP, 2017).

Para instalar PHP simplemente ejecutamos:

```
#yum install php
```

Con esto, solo basta reiniciar el servidor web Apache en el Cloud Server para que Apache trabaje con PHP:

```
#service httpd restart
```

### Librerías adicionales PHP

Es muy común usar librerías o módulos adicionales, que permitan incrementar las características de PHP, esto se lo realiza ejecutando:

```
#yum search php
```



Donde se despliega una lista con una descripción del módulo en cuestión:

php-bcmath.x86\_64 : A module for PHP applications for using the bcmath library  
php-gd.x86\_64 : A module for PHP applications for using the gd graphics library  
php-imap.x86\_64 : A module for PHP applications that use IMAP  
php-ldap.x86\_64 : A module for PHP applications that use LDAP  
php-mbstring.x86\_64 : A module for PHP applications which need multi-byte string  
php-mysql.x86\_64 : A module for PHP applications that use MySQL databases  
php-mysqlnd.x86\_64 : A module for PHP applications that use MySQL databases  
php-odbc.x86\_64 : A module for PHP applications that use ODBC databases  
php-pspell.x86\_64 : A module for PHP applications for using pspell interfaces  
php-recode.x86\_64 : A module for PHP applications for using the recode library  
php-snmp.x86\_64 : A module for PHP applications that query SNMP-managed devices  
php-soap.x86\_64 : A module for PHP applications that use the SOAP protocol  
php-xml.x86\_64 : A module for PHP applications which use XML  
php-xmlrpc.x86\_64 : A module for PHP applications which use the XML-RPC protocol

Para el Servidor de mapas se debe instalar el módulo php-mysql ejecutando:

```
#yum install php-mysql
```

```
#yum -y install php-gd php-ldap php-odbc php-pear php-xml php-xmlrpc php-mbstring php-snmp php-soap curl curl-devel
```

Para que los cambios se guarden y actualicen se debe reiniciar el servicio de Apache con la siguiente línea de comandos:

```
service httpd restart
```

## Anexo 9: Configuración de los IpTables

Se debe permitir el acceso de clientes remotos, para esto se necesita habilitar el puerto por defecto 80 de Apache a través del firewall/router. Para ello se debe editar el archivo iptables con la siguiente línea:

```
#nano /etc/sysconfig/iptables
```



---

Una vez dentro del archivo, se debe añadir la siguiente línea:

```
-A INPUT -p tcp -m state --state NEW -m tcp --dport 80 -j ACCEPT
```

Reiniciar las iptables

```
# service iptables restart
```

## Anexo 10: Instalación de phpMyAdmin

PhpMyAdmin es una herramienta para el manejo de bases de datos MySQL. Para la instalación de esta herramienta se necesita agregar su repositorio, esto se puede realizar con las siguientes líneas de código:

```
#cd /etc/yum.repos.d/  
# wget http://epel.mirror.net.in/epel/6/i386/epel-release-6-8.noarch.rpm  
# rpm -Uvh epel-release-6-8.noarch.rpm
```

Para la instalación se ingresa en consola el siguiente comando:

```
#yum -y install phpMyAdmin
```

Ahora se harán los cambios correspondientes en el archivo de configuración de phpMyAdmin, a fin de que podamos acceder a la aplicación desde el navegador; este procedimiento es fundamental para que funcione correctamente, en el caso de no realizarlo, se negará el acceso a dicha página (PhpMyAdmin, 2017). Para realizar este proceso se edita el archivo phpMyAdmin.conf:

```
# nano /etc/httpd/conf.d/phpMyAdmin.conf
```

Se debe tomar en cuenta que el signo numeral “#”, permite comentar líneas de código que no se deseen ejecutar. El archivo phpMyAdmin.conf, deberá mostrar la siguiente configuración:

```
[...]  
Alias /phpMyAdmin /usr/share/phpMyAdmin  
Alias /phpmyadmin /usr/share/phpMyAdmin
```

```
#<Directory /usr/share/phpMyAdmin/>  
#  AddDefaultCharset UTF-8
```

```
#  <IfModule mod_authz_core.c>  
#    # Apache 2.4  
#    <RequireAny>  
#      Require ip 127.0.0.1  
#      Require ip ::1
```



```
# </RequireAny>
# </IfModule>
# <IfModule !mod_auth_core.c>
#   # Apache 2.2
#   Order Deny,Allow
#   Deny from All
#   Allow from 127.0.0.1
#   Allow from ::1
# </IfModule>
#</Directory>
[...]
```

El resto del archivo se mantiene sin cambio alguno (intacto [. . .] ), se guardan las modificaciones al archivo y se reinicia, el servidor apache:

```
#service httpd restart
```

En este punto de la configuración se tiene habilitado la autenticación y el acceso a phpMyAdmin, pero dicha autenticación se realiza utilizando cookies (PhpMyAdmin, 2017). Para poder cambiar autenticación por http, editamos el archivo conf.inc.php ubicado en /etc/phpMyAdmin/

```
#nano /usr/phpMyAdmin/config.inc.php
```

Las líneas de autenticación se muestra a continuación:

```
[...]
/* Authentication type */
$cfg['Servers'][$i]['auth_type'] = 'http';
[...]
```

Para actualización y reconocimiento de los cambios se reinicia el servidor Apache:

```
# service httpd restart
```

## Anexo 11: Instalación y configuración de pmapper

P.mapper está destinado a ofrecer una amplia funcionalidad y múltiples configuraciones para facilitar la configuración de una aplicación MapServer basada en PHP / MapScript.

### Prerrequisitos

El requisito fundamental e indispensable para la instalación y utilización de p.mapper es que el ordenador tenga instalado PHP. Esto se pudo realizar en anteriormente y se encuentra documentado en la sección 4.4 del presente documento.



## Configuración de p.mapper mediante PHP

Para la utilización de p.mapper se necesita realizar una reconfiguración del archivo `php.conf` (PHP, 2017). Por lo que, iniciamos esta configuración utilizando:

```
#nano /etc/httpd/conf.d/php.conf
```

Confirmar y agregar las líneas para que queden de la siguiente manera:

```
AddHandler php5-script .php .phtml
```

```
AddType application/x-httpd-php .php .phps .php3 .phtml
```

```
DirectoryIndex index.php index.phtml
```

Reiniciar el servicio Apache

```
#service httpd restart
```

Instalar librería requerida MDB2

```
# yum install php-pear-MDB2
```

## Configuración del archivo `httpd.conf`

Se debe editar el archivo `/etc/httpd/conf/httpd.conf`, quedando de la siguiente manera:

```
Options FollowSymLinks
```

```
AllowOverride All
```

```
Options Indexes FollowSymLinks
```

```
AllowOverride All
```

## Librerías proj, geos y gdal

Se procede a verificar que en el sistema estén instaladas las librerías proj y geos. Esto se puede realizar digitando en consola el siguiente comando:

```
#rpm -q proj geos
```

Caso contrario instalar las librerías con los siguientes comandos:





```
#yum install proj geos -y
```

Instalar la librería gdal usando el siguiente comando:

```
#yum install gdal -y
```

Al terminar la instalación se debe verificar que este instalado en su sistema gdal, esto se puede realizar con la siguiente línea de comandos:

```
#rpm -q gdal
```

### **Librería imap para php**

Instalamos la librería imap para php con el siguiente comando:

```
#yum install php-imap
```

Reiniciar el servidor Apache con:

```
#service httpd restart
```

### **Librería mapscript**

Verificar que se tenga instalado mapscript para php, esto se realiza utilizando el comando:

```
#rpm -q php-mapserver
```

Si no se encuentra instalado, se debe instalar con la siguiente línea de comandos:

```
#yum install php-mapserver -y
```

Se debe verificar que se ha instalado correctamente mapscript para PHP, para ello en el directorio raíz del servidor Apache, se debe crear un archivo con extensión .php y colocar el siguiente contenido:

```
<?php  
phpinfo();  
¿>
```

Se procede a guardar los cambios y ejecutar en el explorador de internet:

localhost/phpinfo.php

Si es correcta la instalación, se debe de mostrar lo siguiente:



## Universidad de Cuenca

### libxml

libXML support	active
libXML Compiled Version	2.7.6
libXML Loaded Version	20706
libXML streams	enabled

### MapScript

MapServer Version	MapServer version 6.0.4 OUTPUT=GIF OUTPUT=PNG OUTPUT=JPEG SUPPORTS=PROJ SUPPORTS=AGG SUPPORTS=CAIRO SUPPORTS=FREETYPE SUPPORTS=ICONV SUPPORTS=FRIBIDI SUPPORTS=WMS_SERVER SUPPORTS=WMS_CLIENT SUPPORTS=WFS_SERVER SUPPORTS=WFS_CLIENT SUPPORTS=WCS_SERVER SUPPORTS=SOS_SERVER SUPPORTS=FASTCGI SUPPORTS=THREADS SUPPORTS=GEOS INPUT=POSTGIS INPUT=OGR INPUT=GDAL INPUT=SHAPEFILE
PHP MapScript Version	(\$Revision\$ \$Date\$)

### mbstring

Multibyte Support	enabled
Multibyte string engine	libmbfl
HTTP input encoding translation	disabled

Ilustración 40. libxml, MapScript, mbstring.

### iconv

iconv support	enabled
iconv implementation	glibc
iconv library version	2.5

Directive	Local Value	Master Value
iconv.input_encoding	ISO-8859-1	ISO-8859-1
iconv.internal_encoding	ISO-8859-1	ISO-8859-1
iconv.output_encoding	ISO-8859-1	ISO-8859-1

### imap

IMAP c-Client Version	2004
SSL Support	enabled
Kerberos Support	enabled

Ilustración 41. Iconv, imap.

## Anexo 12: Instalación y configuración de QGIS para escritorio

WPS permite la ejecución de procesos de Sistemas de Información Geográfica, para esto se debe instalar la versión de escritorio de QGIS para la ejecución de estos procesos (QGIS, 2018). Para la instalación de QGIS se debe agregar al archivo sources.list ubicada en el fichero /etc/apt los siguientes repositorios:

deb <http://qgis.org/debian> xenial main

deb-src <http://qgis.org/debian> xenial main

Ahora se registrarán los Keys y se realiza la instalación con los siguientes comandos:



## Universidad de Cuenca

---

```
gpg --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv D71472C4
```

```
gpg --export --armor D71472C4 | sudo apt-key add -
```

```
sudo apt-get update && sudo aptitude install qgis python-qgis qgis-plugin-grass  
-y
```

```
sudo apt-get autoremove && sudo apt-get autoclean && sudo apt-get clean &&  
sudo aptitude autoclean && sudo aptitude clean
```